

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Оптимізація конструкції і технології влаштування вентилязованих
фасадів

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Грабовська К.А.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

Ковальчук Я.О.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Данильченко С.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2021

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

« » (підпис) (прізвище та ініціали)
2021 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія
(шифр і назва спеціальності)

студенту Грабовській Катерині Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація конструкцій і технологій влаштування вентилярованих фасадів

Керівник роботи к.т.н., доцент Ковальчук Я.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 26 » 02 2021 року № 4/7-148

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.05.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи Структурні елементи конструкції навісного вентиляваного фасаду

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Літературний огляд відповідно до теми роботи; 2. Методика досліджень теплового аналізу огорожуючих конструкцій з влаштуванням системи вентиляваного фасаду; 3. Комплексне дослідження впливу термомостів на систему вентиляваного фасаду та оптимізація системи шляхом термічного аналізу існуючих матеріалів; 4. Рекомендації для застосування отриманих результатів; 5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Графічний та ілюстративний матеріал подати у вигляді презентації з використанням обчислювальної техніки

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|----------------------------------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| Охорона праці | Каспрук В.Б., к.т.н, доцент | | |
| Безпека в надзвичайних ситуаціях | Стручок В.С., ст. викл. | | |
| Нормоконтроль | Данильченко С.М. ст. викл. | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів роботи | Термін виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--|--------------------------------|----------|
| 1 | Аналіз наукових праць, нормативних актів та документів | 27.02.2021 | |
| 2 | Вивчення та формулювання методики досліджень теплового аналізу огорожуючих конструкцій з улаштуванням системи вентиляваного фасаду | 02.03.2021 | |
| 3 | Комплексне дослідження впливу термомостів на систему вентиляваного фасаду та оптимізація системи шляхом термічного аналізу існуючих матеріалів | 15.03.2021 | |
| 4 | Формування рекомендацій для застосування отриманих результатів | 15.04.2021 | |
| 5 | Формулювання вимог з охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях | 23.04.2021 | |
| 6 | Аналіз проведених досліджень та формування загальних висновків | 28.04.2021 | |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки до кваліфікаційної роботи | 09.05.2021 | |
| 8 | Створення презентації відповідно до результатів проведених досліджень | 13.05.2021 | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Студент

_____ (підпис)

Грабовська К.А.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Ковальчук Я.О.

_____ (прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП..... | 5 |
| РОЗДІЛ 1 РОЛЬ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ..... | 8 |
| 1.1 Сучасний державний підхід до забезпечення енергоефективності будівель | 8 |
| 1.2 Структура теплових втрат в будівлях | 11 |
| 1.3 Інженерні підходи до теплоізоляції огорожувальних конструкцій | 12 |
| 1.3.1 Теплоізоляційні матеріали | 12 |
| 1.3.2 Методи теплового ізолювання огорожуючих конструкцій будівель | 13 |
| 1.4 Застосування системи вентильованого фасаду для теплоізоляції стін..... | 15 |
| 1.4.1 Історична довідка | 15 |
| 1.4.2 Конструктивна схема та матеріали для улаштування системи навісного вентильованого фасаду | 17 |
| 1.4.3 Технології улаштування навісного вентильованого фасаду..... | 19 |
| 1.4.4 Переваги та недоліки вентильованого фасаду | 21 |
| 1.5 Аналіз результатів огляду та постановка власних задач дослідження..... | 22 |
| 1.6 Висновки за I розділом | 23 |
| РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕПЛООВОГО АНАЛІЗУ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ З УЛАШТУВАННЯМ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДУ | 24 |
| 2.1 Методика теплофізичного аналізу системи вентильованого фасаду в середовищі ANSYS Workbench | 24 |
| 2.2 Методика розрахунку опору теплопередачі конструкції зовнішніх стін будівлі з урахуванням фасадної теплоізоляції з вентильованим повітряним прошарком . | 25 |
| РОЗДІЛ 3 КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМОСТІВ НА СИСТЕМУ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ШЛЯХОМ ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ | 30 |

| | |
|--|----|
| 3.1 Дослідження впливу термомостів на систему навісного вентилязованого фасаду | 30 |
| 3.1.1 Основні параметри та умови проведення дослідження | 30 |
| 3.1.2 Дослідження впливу термомостів в залежності від висоти кріпильних кронштейнів та наявності терморозривної подушки | 39 |
| 3.1.3 Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентилязованого фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів..... | 47 |
| 3.2 Аналіз поширених та підбір оптимальних конструктивних матеріалів для системи вентилязованого фасаду | 51 |
| 3.3 Економічне обґрунтування використання отриманої оптимізованої системи . | 58 |
| 3.4 Висновки за розділом 3..... | 59 |
| РОЗДІЛ 4 РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ..... | 61 |
| РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ | 62 |
| 5.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці | 62 |
| 5.2 Вимоги з техніки безпеки і охорони праці при проведенні робіт по утепленню фасадів будівель і споруд | 63 |
| 5.3 Законодавча та нормативна база щодо захисту працівників в надзвичайних ситуаціях..... | 67 |
| 5.4 Основні вимоги забезпечення показників безпеки під час застосування фасадної теплоізоляції | 68 |
| 5.5 Висновки за розділом 5..... | 70 |
| ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ | 71 |
| БІБЛІОГРАФІЯ..... | 73 |

ВСТУП

Актуальність теми. У наш час питання енергоефективності будівель і споруд в Україні набуло загальнодержавного значення. Найбільше процеси втрати енергоефективності та тепла в будівлі пов'язані з улаштуванням теплоізоляції огорожувальних конструкцій. Незалежно від району будівництва будівель та споруд, теплоізоляція повинна знижувати витрати тепла будівлі та забезпечувати її необхідний теплозахист.

Одним із головних напрямків енергозбереження є підвищення властивостей теплозахисту огорожувальних конструкцій будівель. Комплексним вирішенням даного питання є впровадження сучасних теплозахисних конструктивних та технологічних рішень для будівель як під час будівництва, так і під час ремонту чи реконструкції.

Вентильовані фасадні системи все частіше застосовуються в сучасній будівельній промисловості. Якщо таку систему побудовано належним чином, то вона суттєво підвищує теплоізоляційні властивості стін будівлі. Зі збільшенням інтересу до цього типу фасадів можна також помітити збільшення кількості не вирішених проблем з самою конструкцією вентильованого фасаду.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика та мета магістерської роботи відповідає багатьом проектам та напрямкам досліджень, як на державному так і на регіональному рівні, а саме:

– Всеукраїнська програма «ЕНЕРГОДІМ», затверджена Наглядовою радою Фонду енергоефективності України 16.08.2019 року, що є зосередженою на частковому відшкодуванні витрат на забезпечення енергоефективності в багатоквартирних житлових будинках. Період дії програми 30.09.2020 року - 31.12.2023 року. Розроблено згідно Закону України №2095-VIII від 08 червня 2017 року «Про Фонд енергоефективності»;

– Всеукраїнська програма «IQ energy», що сприяє підвищенню енергетичної ефективності в українському житловому секторі відповідно до європейських нормотворчих актів щодо енергоефективності. Розроблена Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР) і підтримується

донорами у наданні технічної допомоги та кредитування. Підтримка енергоефективних проектів складається з фінансування та інвестування у високоефективні технології та заходи, що мають від 20% і вище енергетичних показників, порівняно з середніми показниками на ринку нерухомості та будівництва України;

– Тернопіль. Програма енергоефективності, енергозбереження та термомодернізації будівель житлового фонду м. Тернополя на 2015-2020 роки. Дана програма передбачає проведення комплексу теплоізоляційних робіт фінансування якого проводиться на 70% - кошти з бюджету громади, 30% – кошти мешканців будинку.

Метою даної роботи є розроблення конструктивних та технологічних пропозицій для забезпечення високого ступеню енергоефективності будівлі з використання теплоізоляційної системи вентильованого фасаду при мінімальних витратах для її влаштування.

Задачі дослідження: підбір оптимальних матеріалів та параметрів конструктивних елементів системи вентильованого фасаду для забезпечення необхідної енергоефективності будівлі; оптимізація конструкції вентильованого фасаду шляхом аналізу та дослідження питань, які пов'язані з утворенням термомостів; аналіз техніко-економічних показників при оптимізації системи вентильованого фасаду.

Об'єкт дослідження - система вентильованого фасаду для будівництва житлових будинків та будівель громадського призначення.

Предмет дослідження - конструктивні елементи системи вентильованого фасаду та технології їх улаштування.

Методи дослідження:

- бібліографічний пошук;
- системно-структурний аналіз;
- чисельне та інформаційне моделювання;
- порівняльний аналіз.

Наукова новизна одержаних результатів:

- удосконалено конструкцію кріпильних елементів вентиляваного фасаду шляхом вибору оптимального співвідношення їх матеріалів і розмірів;
- виявлено вплив точкових термомостів, утворених примиканням кріпильних елементів системи вентиляваного фасаду, на проходження тепла через огорожуючу конструкцію;
- оптимізовано конструкцію системи вентиляваного фасаду та технологію її влаштування.

Практичне застосування отриманих результатів полягає у підвищенні енергоефективності будівель після їх утеплення шляхом установки системи вентиляваного фасаду. Практичне значення у роботі мають обґрунтовані енергоефективні рішення, визначення економічної доцільності, підбір відповідних матеріалів, аналіз та дослідження витрат тепла через термомости, що утворюються при влаштуванні системи вентиляваного фасаду та вирішення конструктивних проблем. Отримані результати доцільно використовувати при будівництві нових будинків, ремонті та реконструкції існуючих.

Використання результатів досліджень дасть можливість підвищити їх енергоефективність, зменшити матеріальні витрати при влаштуванні системи теплоізоляції.

Апробація результатів наукової роботи. Основні положення дослідницької роботи оприлюднено у збірнику тез ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 листопада 2020 року), а також у збірнику тез ІV Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 28-29 квітня 2021 року.)

Публікації результатів кваліфікаційної роботи здійснено у збірниках тез доповідей двох вищезгаданих конференцій.

Ключові слова: енергоефективність, огорожуючі конструкції, система вентиляваного фасаду, теплоізоляція.

РОЗДІЛ 1

РОЛЬ ВЕНТИЛЬОВАНИХ ФАСАДІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

1.1 Сучасний державний підхід до забезпечення енергоефективності будівель

З метою забезпечення енергоефективності будівель Міністерством регіонального розвитку, Міністерством енергетики України та Кабінетом Міністрів України прийнято ряд нормативних актів, розпоряджень та постанов, у яких прописано умови та пункти, що регулюють теплові втрати будівлі. А також щороку проводяться всеукраїнські, міжнародні гранти, проєкти та програми фінансування підвищення енергоефективності як існуючих будівель, так і будівництва нових енергоефективних будинків.

Згідно з Законом України від 1.12.2020 року «Про енергетичну ефективність будівель» [1] політика держави у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель базується на:

- забезпеченні належного енергорівня будівель згідно з технічними регламентами, стандартами, нормами та правилами;
- стимулюванні мінімізації витрат енергії в будівлях;
- забезпеченні скорочення викидів шкідливих газів у атмосферу;
- створенні умов для інвестування у заходи із забезпечення (підвищення) енергоефективності будівель;
- забезпеченні термомодернізації будівель, стимулюванню використання джерел енергії, що відновлюються;
- розробленні та реалізації національного плану щодо збільшення числа будівель, що мають мінімальний рівень енергоспоживання.

Постановою КМУ від 26.11.2014 року №676 було прийнято положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України [2]. Даний орган виконавчої влади регулює сферу енергозбереження, проводить

енергоаудит та розробляє пропозиції про забезпечення енергоефективності будівель.

Постановою Кабінету Міністрів від 20.12.2017 року № 1099 створено державну установу “Фонд енергоефективності” [3]. Фонд підтримує ініціативи, які стосуються енергоефективності, стимулює і підтримує заходи з підвищення енергозбереження та рівня енергоефективності будівель у житловому секторі.

Міністерством енергетики України спільно з Держенергоефективності України 10.12.2020 року подано на розгляд уряду проект розпорядження Кабінету Міністрів «Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року» [3].

Створено та схвалено Концепцію реалізації державної політики для забезпечення енергоефективності будівель у частині збільшення числа будівель з мінімальним рівнем енергоспоживання, а також затверджено Національний план збільшення числа будівель з близьким з мінімальним рівнем споживання енергії. Згідно розпорядження Кабінету Міністрів України [4] завдяки даним документам та планам повинно бути сформовано та визначено всі необхідні способи реалізації ефективної державної політики, що спрямована на збільшення кількості енергонезалежних будівель в Україні, а також забезпечення енергоефективності будівель. У період 2020-2030рр. необхідно проводити постійне удосконалення нормативно-правових актів та технічне регулювання вимог до енергонезалежних будівель, забезпечувати організаційну та фінансову підтримку від держави власникам усіх наявних та новостворених будівель. На органи місцевого самоврядування покладено мету забезпечення дотримання вимог щодо всіх об’єктів будівництва та будівель на місцях, в тому ж числі тих, у яких здійснюється реконструкція.

Фондом Енергоефективності України запроваджено та реалізується на постійній основі Всеукраїнська програма комплексної термомодернізації житлових будинків «ЕНЕРГОДІМ» [5]. Дана програма проводиться разом з фінансовою міжнародною корпорацією – IFC, Deutsche Gesellschaft für

Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH і Програмою розвитку ООН (ПРООН) та передбачає часткове фінансування поширення енергоефективності. Завдяки проведенню усі жителі України мають змогу економити на комунальних послугах та підвищити рівень енергоефективності житла, так і забезпечити дотримання усіх міжнародних зобов'язань України в сфері енергоефективності.

У 2016 році Європейським банком реконструкції та розвитку (ЄБРР) розроблено програму «IQ energy» [6]. Станом на 2021 рік програму успішно завершено. Це сприяло підвищенню енергоефективності в українському житловому секторі, згідно з європейськими стандартами енергоефективності. Дана програма була частиною його глобального фонду фінансування зеленої економіки. Інвестори та донори мали змогу інвестувати у високоефективні енергоефективні технології та заходи, які мають щонайменше на 20% вищі енергетичні показники, ніж середні показники на ринку нашої держави. А також фахівці у сфері енергоефективного будівництва надавали технічний супровід та допомогу для будівельних проєктів, що фінансуються. Саме такі проєкти, що брали участь у програмі, досягли енергозбереження 72596 МВт·год на рік та зменшили рівень викидів CO₂ на 27732 тонн на рік.

Згідно Наказів №260 [7] щодо мінімальної енергоефективності будівель та №261 [8] щодо методики її розрахунку Міністерства розвитку громад та територій України житлові та громадські будівлі не можливо будувати та здавати в експлуатацію без дотримання мінімальних вимог до енергоефективності. Усі розроблені Мінрегіоном вимоги є обов'язковими для будівель усіх типів та видів. Поетапно проводити теплову модернізацію будівель дозволяють Накази. Узявши до уваги найбільш розповсюджені в Україні будівлі, науковці визначили оптимальні вимоги, що розподілені відповідно до окремих видів будівельних робіт [7].

1.2 Структура теплових втрат в будівлях

Згідно роз'яснення Міністерства розвитку громад та території України [9], основні тепловтрати будинку в нашій державі відбуваються через:

- зовнішні сітні будівлі;
- систему вентиляції будівлі;
- міжгорищні перекриття та дах, що не утеплюється;
- вікна;
- підлогу та перекриття підвального приміщення будинку, яке не опалюється;
- вхідні двері.

У багатоквартирному житловому будинку 30...45% тепловтрат формується через зовнішні огороджуючі конструкції, а конструктивними елементами та стилями стін (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Основні теплові втрати для багатоквартирного житлового будинку

Саме такі втрати призводять до того, що виникають містки холоду. 15...25% тепла втрачається через систему вентиляції. Близько 10...20% теплової енергії виходить через вікна, скляні конструкції та через горищні перекриття і здебільшого не утеплений дах. Через підлогу та перекриття підвалу, який не опалюється, будівля втрачає тепла на 10...15%. Всього 1...6% теплових втрат проходить через вхідні двері.

1.3 Інженерні підходи до теплоізоляції огорожувальних конструкцій

1.3.1 Теплоізоляційні матеріали

Основними теплоізоляційними матеріали в Україні є пінополістирол, мінеральна вата та скловата. Пінополістирол використовується у 40 % випадків теплоізоляції будівель. Мінеральна вата та скловата займають 30 % і 25 % відповідно, і всього 5 % займають інші види теплоізоляційних матеріалів. Основні теплоізоляційні матеріали для огорожуючих конструкцій та їх властивості наведено у таблиці 1.1 згідно з [10].

Таблиця 1.1 – Основні теплоізоляційні матеріали та їх теплофізичні характеристики

| № | Назва матеріалу | Густина ρ_0 , кг/м ³ | Питома теплоємність C^0 , кДж/(кг·К) | Теплопровідність в сухому стані λ_0 , Вт/(м·К) | Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації w, % | Розрахункова теплопровідність λ_p , Вт/(м·К) | Коефіцієнт паропроникності μ , мГ/(м·год·Па) |
|---|-----------------|--------------------------------------|--|--|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1 | Мінеральна вата | 30-225 | 0,84 | 0,039-0,040 | 0,5-1 | 0,046-0,054 | 0,30-0,55 |

Продовження табл.1.1

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----|---|--------------|------|-----------------|-------|-----------------|---------------|
| 2 | Скловолокно | 10-70 | 0,84 | 0,032- 0,044 | 1-3 | 0,042- 0,057 | 0,45- 0,70 |
| 3 | Екструдований пінополістирол | 30-35 | 1,45 | 0,034- 0,035 | 0,5-1 | 0,035- 0,037 | 0,008 |
| 4 | Пінополіуретан | 40-80 | 1,47 | 0,029- 0,041 | 2-5 | 0,040- 0,050 | 0,05 |
| 5 | Пінопласт | 40- 100 | 1,68 | 0,038- 0,047 | 5-20 | 0,041- 0,064 | 0,23 |
| 6 | Пінополіетилен | 30-50 | 1,34 | 0,038- 0,043 | 2-5 | 0,042- 0,047 | 0,02 |
| 7 | Перліт | 250- 450 | 0,84 | 0,071- 0,110 | 10-15 | 0,083- 0,202 | 0,10- 0,20 |
| 8 | Піноскло | 120 | 0,84 | 0,045 | 0,5-1 | 0,053- 0,054 | 0,002 |
| 9 | Арболіт | 300- 800 | 2,3 | 0,07- 0,16 | 10-15 | 0,11- 0,3 | 0,11- 0,3 |
| 10 | Деревноволокн. та деревостружк. плити | 200- 1000 | 2,3 | 0,06- 0,15 | 10-12 | 0,07- 0,29 | 0,12- 0,24 |

1.3.2 Методи теплового ізолювання огорожуючих конструкцій будівель

У наш час існує три найпоширеніших методи утеплення фасадів будівель [11].

1) «Мокрий» метод, або ж утеплення під штукатурку. Існує два підвиди такої теплоізоляції: «легка» та «важка» система. У першому варіанті є легша сама конструкція і менша вартість. Теплоізоляційний матеріал приклеюється до стіни та закріплюється і дюбелями-парасольками. «Важкою» система утеплення фасадів називається через те, що утеплювач прикріплюється арматурною сіткою і використовують більші дюбелі. При цьому відбувається нашарування штукатурки великої товщини (близько 50...55 мм). Саме такий варіант дає

можливість теплоізоляції бути єдиною конструкцією та мати високу стійкість різних погодних явищ. Суть такого методу видно на рис. 1.2.

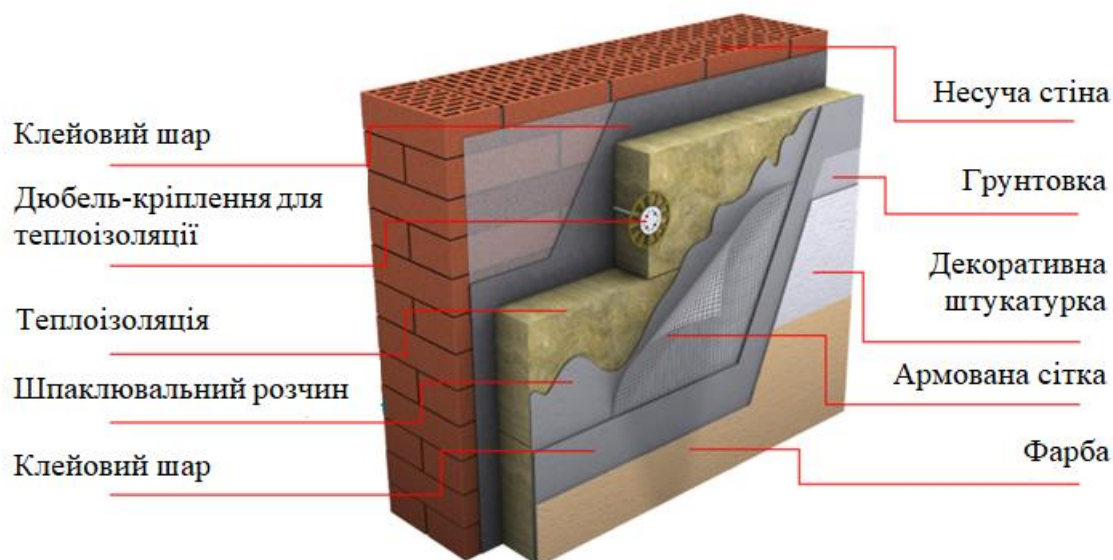


Рисунок 1.2 – Схема улаштування теплоізоляції при «мокрому» методі

2) «Сухий» спосіб утеплення стін або «вентильований фасад». При влаштуванні такого типу утеплення штукатурка не застосовується. Теплоізоляційний матеріал прикріплюється до зовнішньої стіни спеціальними дюбелями і приклеюється. Зверху утеплювач покривається паропроникною мембраною, яка використовується як захист від вітру. Між термоізолятором та облицюванням системи передбачають повітряний прошарок 20...50 мм. Таким чином теплоізоляцію убезпечують від конденсату. Оздоблення матеріал прикріплюється на каркас з алюмінію або сталі.

Приклад утеплення стін ззовні «сухим» методом подано на рис. 1.3.

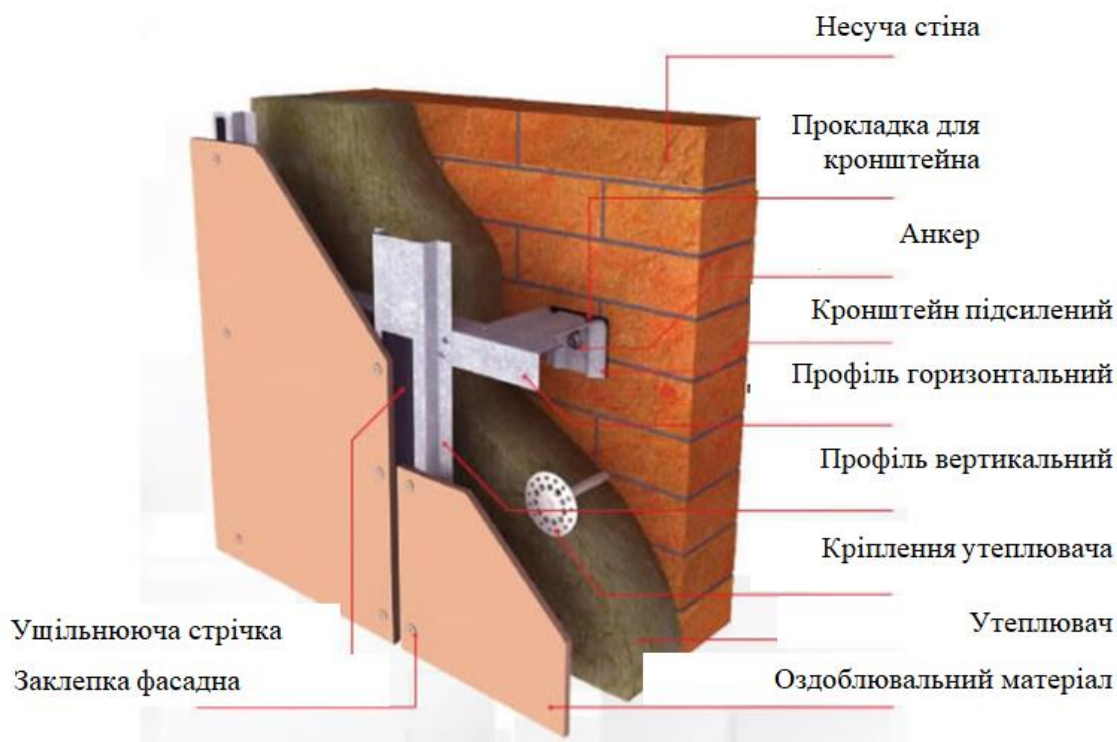


Рисунок 1.3 – Схема улаштування теплоізоляції при «сухому» методі

3) Багатошарова технологія теплоізоляції стін. При такому методі теплоізоляційний матеріал використовують як прошарок між несучою стіною та облицювальною кладкою з керамічної, силікатної або клінкерної цегли. Тут спостерігається мінімальне навантаження на фундамент, проте часто з'являється велика кількість конденсату. Такий спосіб використовують вкрай рідко.

1.4 Застосування системи вентиляваного фасаду для теплоізоляції стін

1.4.1 Історична довідка

Використання вентиляваних фасадів розпочалось ще сотні років тому. Згадується [12], що лише у 1849 р. Жан-Батист Жобард, зміг описати найпершу версію вентиляваного багатошарового фасаду. У своїх працях він згадує про те, що у зимовий період гаряче повітря повинно циркулювати між двома

конструктивними елементами, а саме – стіною будівлі та огорожуючою конструкцією, тоді як влітку у прошарку повинно циркулювати холодне повітря.

Перший екземпляр такої системи з'являється у 1903 р. на найвідомішому в Німеччині заводі м'яких іграшок «Steiff», що розташований у Гінгені. У пріоритеті тоді була максимізація теплоізоляції та освітлення з урахуванням холодної погоди та сильного вітру регіону. Рішенням стала триповерхова конструкція з першим поверхом для складськими приміщеннями для зберігання та двома верхніми поверхами, які використовувались для робочих зон. Така конструкція будівлі мала успіх і тому до неї в 1904 і 1908 роках додали дві прибудови, що були побудовані за тією ж технологією, проте виходячи з бюджетних міркувань для каркасу використовували деревину замість сталі (рис.1.4). Всі ці будівлі все ще використовуються і в наш час.



Рисунок 1.4 – Східний блок 1903 року - це парадний павільйон зліва, інші будівлі побудовані між 1904 і 1908 роками (фото 1920-х років [13])

У 1903 році Отто Вагнер переміг у конкурсі на Ощадний банк пошти у Відні, Австрія. Будівля, побудована у дві фази з 1904 по 1912 рік, має подвійне вентилязоване скління стелі в головному залі. Наприкінці 1920-х років такі системи розроблялися з урахуванням інших пріоритетів. Можна чітко визначити два випадки. У Росії Мойсей Гінзбург експериментував з вентиляваними

системами в комунальних будинках свого будинку Наркомфіна у 1928 році. Також Ле Корбюзьє проектував Centrosoyus, у Мошові. Через рік він приступив до проекту "Cite de Refuge" (1929) та "Immeuble Clarte" (1930) у Парижі.

До кінця 1970-х - початку 1980-х років у будівництві досягнуто лише незначного прогресу або його взагалі немає. Протягом 1980-х фасади такого типу отримали переважне використання. Більшість цих фасадів спроектовано з дотриманням екологічних вимог.

Спосіб утеплення та термомодернізації будівель системами вентилянтованих фасадів набув актуальності ще в СРСР. Його здебільшого використовували через те, що через таку теплоізоляцію можна було закрити зношені фасади старих будинків. Для цього стіни не потребували особливої підготовки [14].

У наш час вентилянтовані фасади використовують досить часто, оскільки вони забезпечують високу енергоефективність будівель і їх архітектурну виразність при оптимальному використанні матеріальних і трудових ресурсів.

1.4.2 Конструктивна схема та матеріали для улаштування системи навісного вентилянтованого фасаду

Згідно з [15] конструкція навісного вентилянтованого фасаду повинна включати в собі металевий кріпильний каркас, шар теплоізоляції, опорядження індустриальними елементами. У системі необхідно створити повітряний прошарок, який матиме фіксовану товщину між шаром теплоізоляції та опоряджувальними матеріалами. Обов'язковим є забезпечення вентиляції.

На рис. 1.5 зображено конструктивну схему навісного вентилянтованого фасаду.

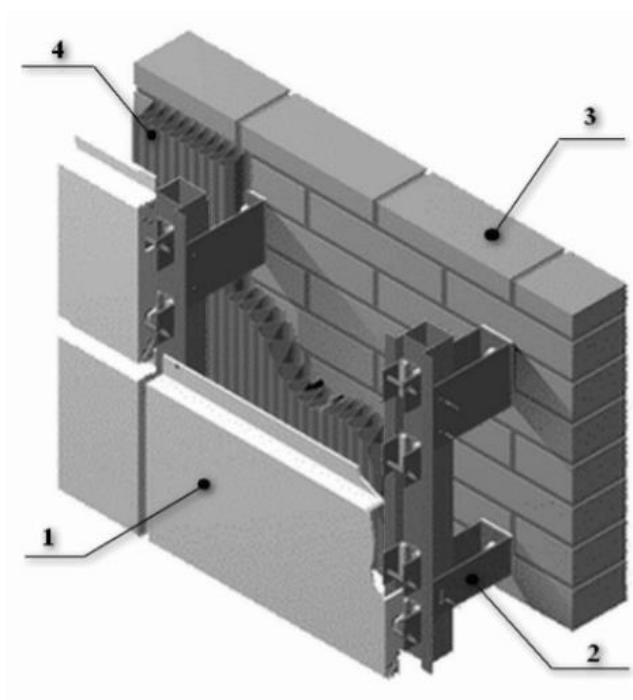


Рисунок 1.5 – Конструктивна схема навісного вентиляваного фасаду

Конструкція складається з облицювання – 1 (найчастіше це плити або листові матеріали) і кріпильного каркасу – 2, завдяки якому конструкція прикріплюється до зовнішньої стіни – 3. У тому випадку, коли необхідне додаткове утеплення ззовні між стіною та облицюванням встановлюють теплоізоляцію – 4. При такому конструктивному рішенні вентиляований простір залишають між теплоізоляційним матеріалом та облицюванням системи [16].

Для створення каркасу системи використовується три види матеріалів такі, як алюмінієвий сплав, нержавіюча сталь і оцинкована сталь. Оцинкована сталь дешевша на 20-30%, проте терміни експлуатації такої сталі суттєво знижуються при найменшому пошкодженні, що стається при монтажі чи доставці на місце монтажу, для таких елементів з оцинкованої сталі (такі, що мають сколи, зрізи, подряпини) в середньому через 7...10 років сталі розпочинається корозія [17].

Кронштейн є елементом каркасу, на який опирається опоряджувальний шар та теплоізоляція, завдяки ньому вся конструкція вентфасаду прикріплюється до зовнішньої стіни, або ж плити перекриття [15]. Саме через кронштейни часто утворюються термомости. Термопідкладку з пароніту або ПВХ встановлюють для

зменшення теплових втрат, які з'являються при проходженні через термомости. Така підкладка одночасно захищає кронштейн від впливу агресивного середовища, яке зумовлює стіна будівлі (розчину кладки, наприклад) [17].

Як теплоізоляційний матеріал у системі вентилязованого фасаду згідно [18] рекомендовано застосовувати мінераловатні, базальтові та скловолокнисті плити. Повітряні потоки, які зосереджуються у вентилязованому прошарку, контактують з поверхнею теплоізоляційного матеріалу. Через це може розпочатись руйнація верхнього шару теплоізоляції. Це призведе до зменшення теплоізоляційних властивостей матеріалу утеплювача. Вітро-гідрозахисна повітропроникна мембрана є вирішенням даної проблеми [19].

Є безліч різних варіантів матеріалів від багатьох виробників, з широкою кольоровою палітрою, що застосовуються для захисного і, водночас, декоративного екрану системи. Основними видами облицювальних матеріалів, що використовуються для навісного вентфасаду є керамогранітні плити, композитні матеріали (до прикладу алюконборд, рейноборд, алполик), цементно-волокнисті листи (фіброцементні, азбестоцементні листи), цементний камінь та металеві облицювальні матеріали у вигляді сайдингу, касет, панелей [16].

Енергоефективність навісного вентилязованого фасаду буде досягнута лише в тому випадку, коли буде розроблено індивідуальний проєкт для конкретної будівлі. Адже конструктивні особливості можливо визначити лише з урахуванням усіх особливостей об'єкта, що споруджується, а саме кліматична зона ділянки, де відбувається будівництво, конфігурація, висота будівлі та матеріали стін.

1.4.3 Технології улаштування навісного вентилязованого фасаду

Перед початком робіт з монтажу системи вентилязованого фасаду розробляється окремий проєкт, в якому враховуються всі потрібні для реалізації конструктивні рішення, необхідна кількість матеріалів, розміри конструктивних елементів, визначаються навантаження, що буде діяти на готову конструкцію

системи вентиляваного фасаду. Основні вимоги до проектування та монтажу збірної системи наведено у [15]. Оптимальна товщина шару утеплювача визначається теплотехнічним розрахунком. Кріпильні елементи розміщують щонайменше на 50 мм від краю утеплюючого матеріалу. Нижній шар навісного вентиляваного фасаду обпирається на цоколь будівлі.

Технологія монтажу навісної системи повинна проводитись згідно визначеної нормативною документацією послідовності робіт. До початку робіт проводять детальне обстеження ділянки, де буде відбуватися монтаж конструкції з вентиляваним фасадом. Усі роботи здійснюють згідно проєктної документації та технологічної карти проведення монтажу навісного вентиляваного фасаду. Перевіряється працездатність усіх механізмів та робочих інструментів, що потрібні для забезпечення безперервного робочого процесу монтажу. На об'єкті слід передбачити приміщення, у якому будуть зберігатись елементи вентиляваного фасаду. Бригада, яка виконує монтажні роботи, виділяє небезпечну зону на віддалі 3 м від зовнішньої стіни. Цю ділянку огорожують. При поганих погодних умовах (сильні пориви вітру – більше 15 м/с, гроза, туман, низькі температури) монтаж не виконують.

Місця кріплення кронштейнів повинні бути помічені на стіні на початку робіт. Точки розташування таких кріплень позначаються згідно інструкції від виробника.

Після виконання підготовчих робіт розпочинається робота над монтажем вентиляваного фасаду. Теплоізоляційні та водовіштовхуючі шари починають монтуватись за такою послідовністю: створюються отвори в самому матеріалі для прикріплення його до кронштейну; приміряється та прикріплюється ізолююча мембрана; встановлюються кріпильні елементи (дюбелі, стяжки) у попередньо-підготовлених отворах.

Монтаж слід проводити знизу-вверх згідно вимог конструкторської і технологічної документації. Монтаж повинен проводитись без утворення зазорів

між елементами. Максимальне відхилення для одного елемента може становити 2 мм.

Часто виникає ситуація, що система передбачає подвійний шар утеплення. При такому варіанті зовнішній шар теплоізоляції кріпиться внапуск існуючим стикам. Така технологія унеможливорює утворення термомостів [20].

Огороджуючі захисні екрани монтуються у такій послідовності [21]:

1) Отвори проробляються у місцях, передбачений робочою проєктною документацією;

2) Електричним дрилем створюються отвори, діаметр яких на 0,2 мм більший за діаметр кріпильного дюбеля;

3) За допомогою заклепок та саморізів прикріплюються оздоблювальні матеріали (плити, касети, тощо).

Завершеною конструкцію вентилязованого фасаду можна вважати тоді, коли пройдено усі етапи монтажу.

1.4.4 Переваги та недоліки вентилязованого фасаду

Головними перевагами конструкції навісного вентилязованого фасаду є [16], [22]:

- високі звукоізоляційні властивості;
- високі теплоізоляційні властивості;
- постійна вентиляція конструкції, а отже забезпечення будівлі та теплоізоляції від утворення конденсату. Уся надмірна волога поступає у спеціальну дренажну систему;
- постійний захист будівлі та утеплювача від навколишніх атмосферних впливів;
- полегшення навантаження на фундамент за рахунок зменшення товщини зовнішніх несучих стін;
- захист від термічних деформацій;

- можливість проведення монтажних робіт у будь-який час, незалежно від погодних умов;
- архітектурна виразність та можливість реалізації будь-яких архітектурних рішень- можливість реалізації різних архітектурних рішень;
- тривалий термін експлуатації конструкції (до 50років).

Недоліками вентиляованого фасаду є [22]:

- висока вартість;
- використання негорючих матеріалів;
- функціональні властивості забезпечуються лише при чіткій послідовності монтажу та високій якості робіт.

Металевий каркас та кріпильні елементи мають неоднорідну будову та пронизують весь утеплювач. За рахунок цього відбувається збільшення теплових втрат через металоконструкцію і відповідно виникає необхідність збільшувати товщину утеплювача, що веде до збільшення загальної маси конструкції і її вартості [23].

1.5 Аналіз результатів огляду та постановка власних задач дослідження

За результатами аналізу відомих досліджень в галузі теплоізолювання огорожувальних конструкцій за системою вентиляованих фасадів виявлено, що:

- відсутня систематизована інформація про конструктивні параметри елементів навісного вентфасаду для різних умов;
- не виявлено інформації про оптимальні товщини та матеріали стіни, до яких кріпиться вентиляований фасад, про допустиму поверховість будинку для улаштування вентиляованих фасадів, про підбір матеріалів для вентиляованого фасаду для оптимізації теплоізоляції;
- відсутні рекомендації стосовно умов використання тих чи інших матеріалів при улаштуванні вентиляованих фасадів;

- не розкрито питання підбору кріпильних матеріалів та рекомендованих параметрів каркасу системи;
- не вирішено питання убезпечення вентиляваного фасаду від утворення термомостів.

Виходячи з аналізу результатів відомих досліджень, сформульовано задачі для власних дослідження. Для розкриття теми кваліфікаційної роботи необхідно:

- 1) сформулювати критерії підбору оптимальних матеріалів та конструктивних параметрів елементів системи вентиляваного фасаду для забезпечення максимальної енергоефективності будівлі;
- 2) оптимізація кріпильної системи вентиляваного фасаду для досягнення мінімальних втрат тепла через термомости;
- 3) аналіз техніко-економічних показників при оптимізації системи вентиляваного фасаду.

1.6 Висновки за I розділом

Виходячи з правових та нормативних актів, постанов, Законів України що стосуються енергоефективності нових та таких , що вже експлуатуються, будівель виконано огляд і систематизацію матеріалів, технологій та програм, що відносяться до забезпечення енергонезалежності.

Сформульовано та обґрунтовано актуальність теми роботи. Виявлено, що підвищення енергетичної ефективності будівель шляхом улаштування системи навісного вентиляваного фасаду є пріоритетним напрямком держави.

На підставі літературних даних щодо використання та конструктивних особливостей вентиляваних фасадів виявлено невирішені питання та сформульовано задачі власних досліджень.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТЕПЛОВОГО АНАЛІЗУ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ З УЛАШТУВАННЯМ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДУ

2.1 Методика теплофізичного аналізу системи навісного вентильованого фасаду в середовищі ANSYS Workbench

Програмний комплекс ANSYS алгоритмічно базується на методі кінцевих елементів і вирішує стаціонарні й нестаціонарні, лінійні і нелінійні задачі з таких областей фізики, як механіка твердого деформованого тіла, механіка рідини і газу, теплопередача, електродинаміка. Пакетний режим ANSYS Workbench є зручний для вирішенні комплексних завдань, алгоритм яких включає в себе переходи, структури, цикли та ін [24].

Завдяки методу скінченних елементів (МСЕ) можна чисельно вирішувати велику кількість фізичних проблем, які математично формуються у вигляді системи диференціальних рівнянь або у вигляді постановки варіацій. Цей метод також використовують і для термоаналізу та пов'язаних з ним завдань [25]. Поставлена задачі розраховуються у ANSYS методом скінченних елементів у 3 етапи, відповідно до структури методу.

На першому кроці створюється основа кінцевої елементної моделі зразка чи об'єкта, що досліджується. Він включає в себе такі кроки:

1. Встановлюється фізичний тип завдання (у нашому випадку теплопередача), звідки виводиться відповідне налаштування програми.

2. Обирається тип кінцевого елемента, що залежить від геометричних розмірів об'єкта та інших його властивостей. Можуть бути задані певні основні характеристики елемента.

3. Вибирається матеріал об'єкта і вказуються всі його необхідні для розрахунку властивості. Властивості матеріали задаються набором з клавіатури

або ж імпортуються з бібліотеки матеріалів ANSYS. Задання цих властивостей визначає модель матеріалу (пружно-пластичну, лінійно-пружну, білінійну і т.д.), що має вплив на підбір визначальних рівнянь МСЕ.

4. Завдяки використанню модуля Design Modeler, будується модель об'єкта, відповідно до його геометрії. А також модель можна експортувати з будь-якого CAD-паketу.

5. Геометрична модель розбивається на кінцеві елементи. Параметри сітки можуть бути різними при розбивці.

6. Контактні пари встановлюються у випадку контактної задачі, завдяки ним визначається модель контакту і її характеристики.

Другий крок – накладання на модель необхідних фізичних умов і рішення завдання – складається з трьох головних дій:

1. Задаються граничні умови.

2. Відбувається підбір типу аналізу (статичний, динамічний, модальний і т.п.). Також є можливість обрання методу розв'язання системи рівнянь МСЕ і задання параметрів обчислювальних процедур (кількості ітерацій і ін.).

3. Розраховується система рівнянь, яка отримана методом МСЕ. Далі відбувається формування файлу результатів, з необхідними параметрами.

Третім кроком є аналіз результатів виконаного розрахунку. Теплові характеристики, що розраховані методом МСЕ представляються у графічному вікні ANSYS у вигляді ілюстрацій, таблиць, графіків та діаграм.

Всі параметри досліджень та їх результати можна побачити у п.3.1.

2.2 Методика обчислення опору теплопередачі конструкції зовнішніх стін будівлі з урахуванням фасадної теплоізоляції з вентильованим повітряним прошарком

Товщина шару теплоізоляції будівлі визначається за вихідними результатами розрахункового опору теплопередачі згідно з [10].

Мінімальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій ($R_{q \min}$) (табл. 2.1) встановлюється згідно з [26] та в залежності від місця розташування об'єкту та температурної зони, у якій будинок буде експлуатуватися (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Карта температурних зон України

Таблиця 2.1 – Мінімально допустимі значення опору теплопередачі зовнішньої стіни будівлі ($R_{q \min}$)

| Значення $R_{q \min}$, $\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{Вт}$, для температурної зони | |
|--|----------------------|
| I температурна зона | II температурна зона |
| 3,3 | 2,8 |

Основні характеристики теплопровідності шару утеплення зовнішньої стіни в умовах експлуатації приймаються у результаті проведених акредитованих лабораторних експериментальних досліджень згідно з [27]. При проектуванні основні теплофізичні характеристики будматеріалів необхідно приймати згідно з [10].

Для аналізу обрано окремих фрагмент зовнішньої стіни житлового будинку з фасадною теплоізоляцією з індустріальним опорядженням та вентиляційним

повітряним прошарком, що розташований у I температурній зоні. У якості фрагменту, який розраховуватиметься, розглядається частина зовнішньої частини будівлі, що має розміри 3м×4м (висота× ширина), що зі всіх сторін примикає до аналогічних частин стіни.

Опір теплопередачі зовнішніх стін (R_{Σ}) визначається за формулою (2.1) згідно з [10]:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{в}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i\ p}} + \frac{1}{\alpha_{з}} \quad (2.1),$$

де $\alpha_{в}$, $\alpha_{з}$ –тепловіддача внутрішньої та зовнішньої поверхонь огорожуючої конструкції, Вт/(м²·К) (табл. 2.2);

δ_i – товщина і-го шару зовнішніх стін, м;

$\lambda_{i\ p}$ – теплопровідність матеріалу, що розраховується для і-го шару зовнішніх стін в розрахункових умовах, Вт/(м·К), що приймається для умов експлуатації «Б».

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнтів тепловіддачі ($\alpha_{в}$, $\alpha_{з}$)

| Коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м ² ·К) | |
|---|--|
| Внутрішньої поверхні, $\alpha_{в}$, Вт/(м ² ·К) | Зовнішньої поверхні, $\alpha_{з}$, Вт/(м ² ·К) |
| 8,7 | 12 |

У випадку наявності конструкції навісного вентиляованого фасаду з повітряним прошарком додатково визначаються характерні включення теплопровідності, які відносяться до огорожуючої конструкції:

- лінійні елементи (віконні відкоси в зоні перемички, що розташовується над вікном, підвіконня);
- точкові елементи (кріпильні дюбелі для утеплюючого матеріалу);
- точкові елементи (кріпильна підсистема навісного вентиляованого фасаду у вигляді несучих кронштейнів).

Для усіх вищезгаданих елементів теплопровідних включень за проектом та даними [10], визначається їх кількісний показник та основні характеристики, включаючи точкові коефіцієнти теплопередачі.

Усереднені коефіцієнти теплопередачі включень для проведення розрахунку для кваліфікаційної роботи наведено у табл. 2.3

Таблиця 2.3 – Коефіцієнти теплопередачі основних теплопровідних включень

| Назва включення | Лінійний коефіцієнт теплопередачі, k , Вт/(м·К) | Точковий коефіцієнт теплопередачі, ψ , Вт/К |
|---|---|--|
| Віконний відкос в зоні перемички протяжністю 1,5м | 0,0625 | - |
| Віконний відкос в зоні підвіконня протяжністю 1,5м | 0,0345 | - |
| Віконний відкос в зоні рядового примикання протяжністю 1,5м | 0,048 | - |
| Дюбелі для кріплення утеплювача у кількості 74 шт | - | 0,0055 |
| Несучі кронштейни для кріплення елементів підсистеми вентиляваного фасаду кількості 20 шт | - | 0,016 |

На підставі зібраних даних про матеріали та даними таблиці 2.2 визначають приведений опір теплопередачі зовнішніх стін згідно з формулою (2.2):

$$R_{\Sigma \text{ пр}} = \frac{F_{\Sigma}}{\sum_{i=1}^I \frac{F_i}{R_{\Sigma i}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j + \sum_{k=1}^K \psi_k N_k} \quad (2.2),$$

де $F_{\Sigma} = 12 \text{ м}^2$ – загальна площа конструкції, м^2 ;

$R_{\Sigma i}$ – опір теплопередачі i -ої термічнооднорідної частини конструкції, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

$F_i = 12 \text{ м}^2$ – площа i -ої термічнооднорідної частини конструкції, м^2 ;

k_i – лінійні коефіцієнти теплопередачі j -го термічнооднорідного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;

L_i – лінійні розміри j -го лінійного теплопровідного включення, м ;

ψ_k – точкові коефіцієнти теплопередачі k -го точкового включення, що має теплопровідність, $\text{Вт}/\text{К}$;

N_k – загальна к-сть точкових k -их теплопровідних включень, шт.

Далі проводиться перевірка відповідності нормативним вимогам [26].

РОЗДІЛ 3

КОМПЛЕКСНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОМОСТІВ НА СИСТЕМУ ВЕНТИЛЬОВАНОГО ФАСАДУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ШЛЯХОМ ТЕРМІЧНОГО АНАЛІЗУ ІСНУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Дослідження впливу термомостів на систему навісного вентильованого фасаду

3.1.1 Основні параметри та умови проведення дослідження

Дослідження проводилось у два етапи:

1. Дослідження впливу термомостів в залежності від висоти кріпильних кронштейнів та наявності термоподушки.

2. Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентфасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів.

При «мокрому способі» утеплення стін будівель величина та розміри утворених теплових мостів має незначний вплив на конструкцію утеплення, а у системі вентильованого фасаду часто досягає критичного значення. Це зумовлено тим, що такі конструкції вимагають відносно великої кількості точок, де зовнішній шар фасаду повинен бути прикріплений до оболонки внутрішньої основи. Кронштейни, виготовлені із сталі чи алюмінію, пронизують шар теплоізоляції на цих ділянках. Об'єм кронштейнів надзвичайно малий у порівнянні з шаром ізоляції, але його коефіцієнт пропускання тепла може бути більшим ніж у 2000 разів, що призводить до утворення інтенсивного теплового потоку між теплими приміщеннями всередині будівлі, що утеплюється ззовні та холодним металевим каркасом взимку та навпаки влітку. Точкові термомости призводять до більш ніж на 20% зниження енергоефективності вентильованого фасаду.

У рамках першої частини досліджувальної роботи проведено детальне вивчення проблеми точкового теплового мосту системи вентиляваного фасаду. Основною метою роботи є дослідження природи термомоста та його впливу на систему вентиляваного фасаду. При цьому аналіз кожного фактора впливу на дану конструкцію (конструкція кронштейну, його розміри, матеріалу стіни будівлі, на яку монтується вентиляваний фасад, матеріалу утеплювача). Також даний аналіз включає вплив параметрів, пов'язаних із стінкою термопрокладки, у місцях де буде встановлення система вентиляваного фасаду.

В процесі дослідження буде виконано термічний аналіз при проходженні тепла через кріпильні елементи системи вентиляваного фасаду (рис. 3.1) та оптимізовано їх конструкцію для забезпечення максимальної енергоефективності системи в цілому при встановленні їх на огорожуючих конструкціях будівлі.

Отримані результати дадуть можливість сформулювати загальні практичні рекомендації для спрощення проєктування та дозволять підвищити теплову ефективність будівлі, зменшивши ефект утворення термомосту.

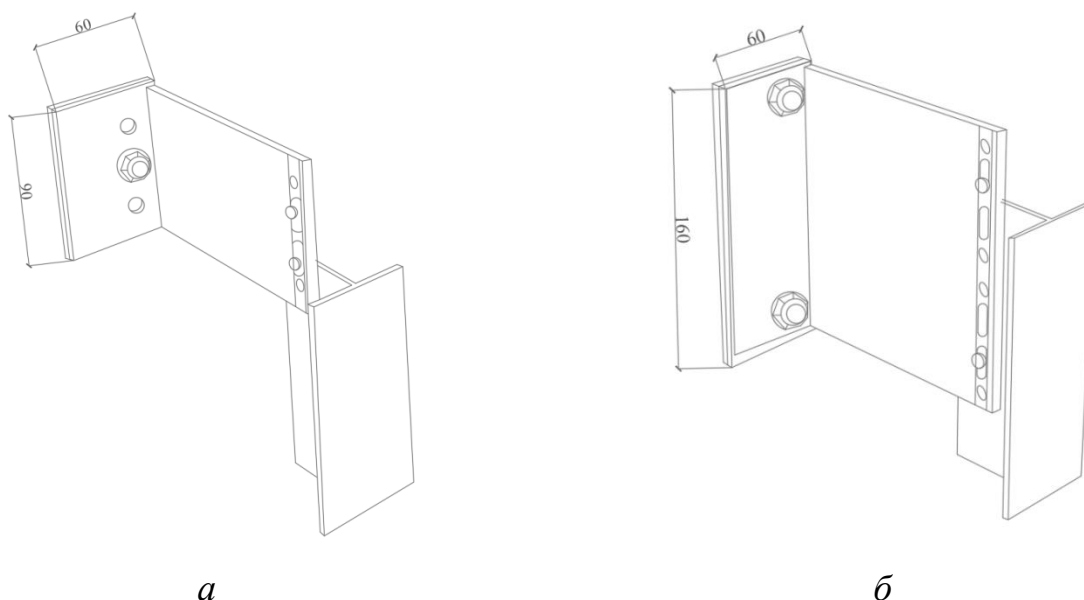


Рисунок 3.1 – Конструктивні варіанти кріпильних елементів вентиляваного фасаду:

- а – кронштейн на половину висоти,
- б – кронштейни на повну висоту

Кронштейн на половину висоти (рис. 3.1, а) використовується у місцях де НВФ прикріплюється до стіни будівлі, а кронштейни на повну висоту (рис. 3.1, б) – у місцях кріплення конструкції вентиляваного фасаду до перекриття.

Відповідно до [28], необхідної точності при дослідженні складних геометричних зразків можна досягти лише за допомогою аналізу кінцевих елементів. Для аналізу ефекту теплового мосту в середовищі кінцевих елементів ANSYS Workbench була розроблена обчислювальна модель (рис. 3.2).

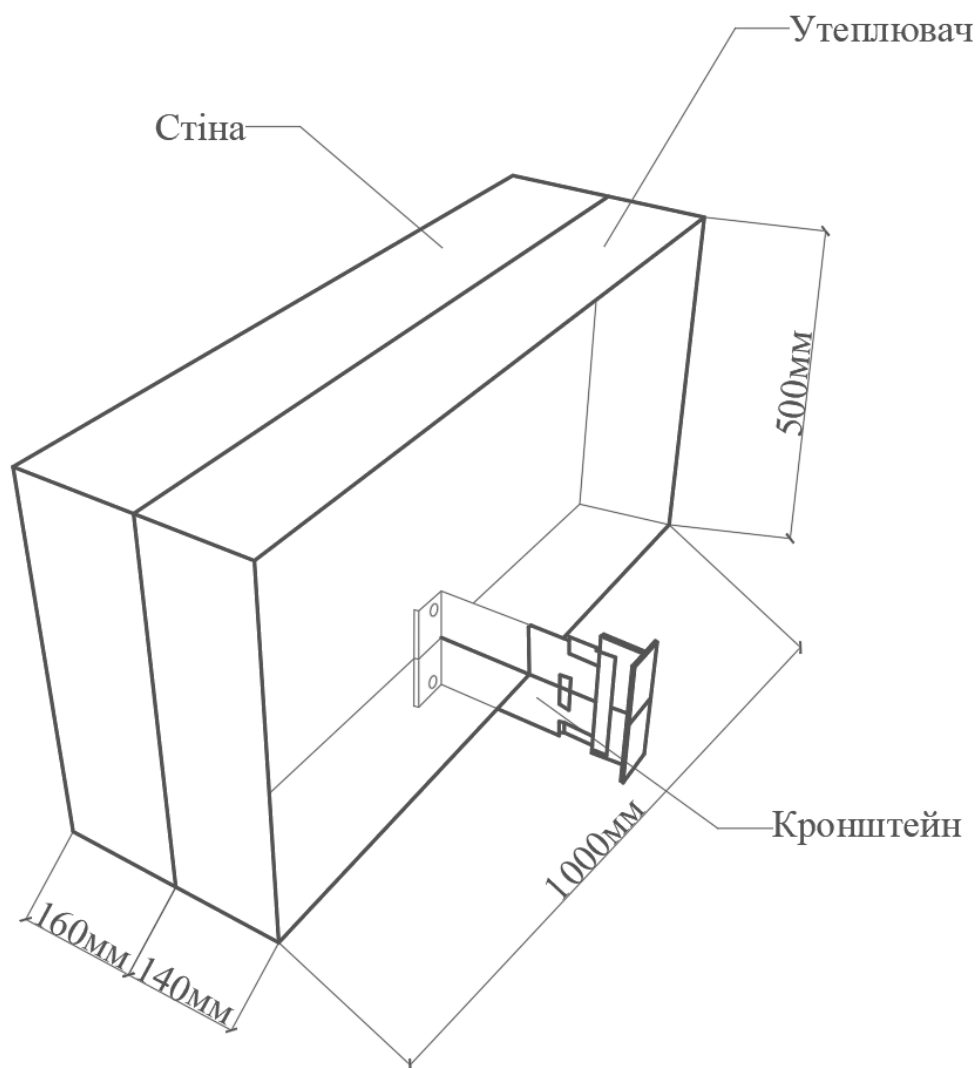


Рисунок 3.2 – Параметри досліджуваної моделі
(з використанням симетрії)

Оскільки фактичний вузол облицювання представляє симетрію в горизонтальній площині, при аналізі системи використовується симетрія для зменшення розміру змодельованого елемента та збільшення швидкості розрахунку. За винятком окремих характеристик та площі елемента, всі інші характеристики, представлені на малюнку, є змінними та є частиною дослідження. Розрахункова сітка складається в середньому на 150000 тетраедричних елементів (рис.3.3,а). Фактична кількість елементів розрахунку може змінюватися залежно від досліджуваних параметрів у кожному дослідженні.

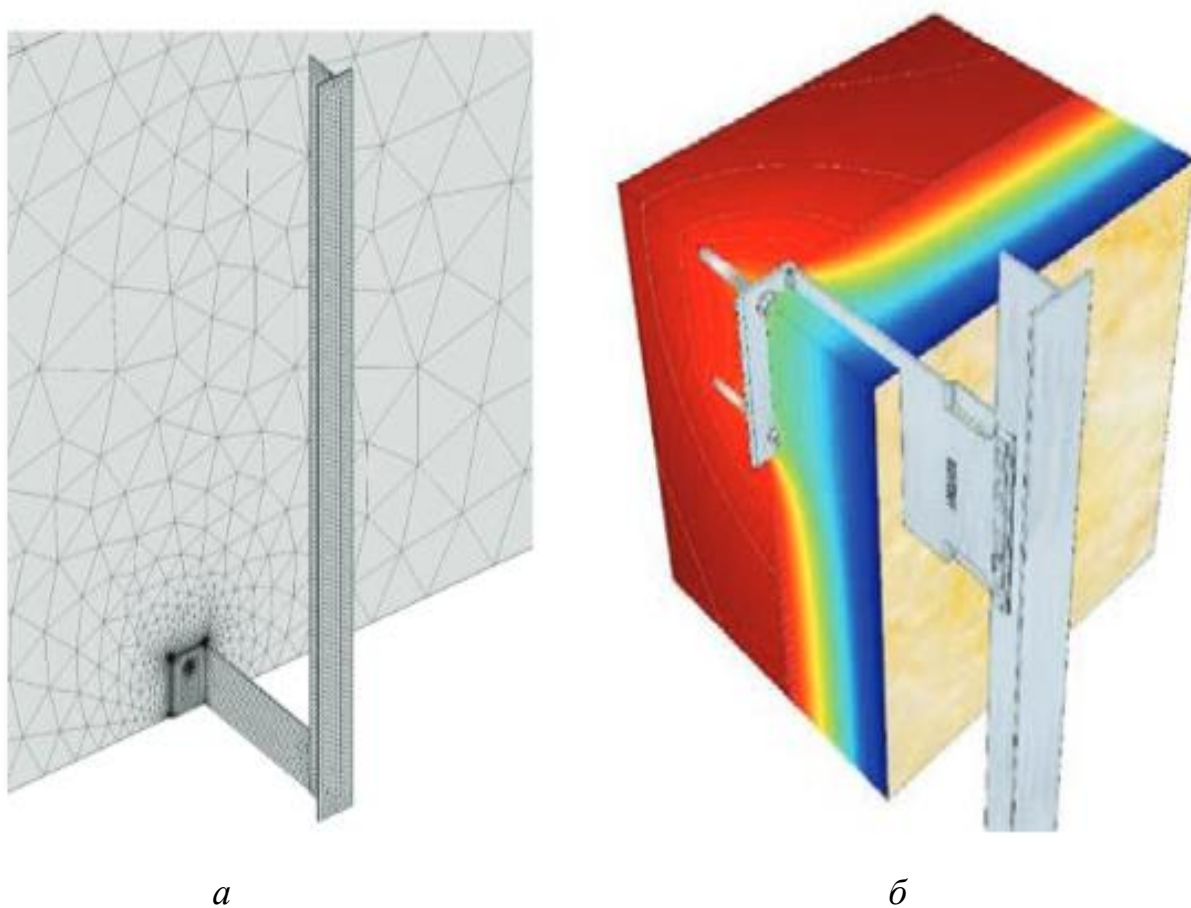


Рисунок 3.3 – Імітаційний елемент для дослідження з використанням:

- a* – розрахункової сітки в області повної довжини кронштейна;
- б* – обчисленого ізотермічного контуру навколо анкерної зони

Утворення точкових термомостів – це багатопараметрична проблема, на яку сильно впливає геометрія досліджуваного зразка та теплофізичні властивості

всіх матеріалів, що беруть участь у конструкції. Будь-яка зміна одного з параметрів може призвести до змін величини теплового мосту, які не відповідають лінійному співвідношенню, і, що найважливіше, не завжди ясно, чи зміна величини теплового моста буде проходити аналогічним чи зворотним шляхом [29]. Оскільки система вентиляваного фасаду розроблена інженерами для того, щоб бути модульною та легко адаптуватись до широкого кола вимог, усі конструктивні та геометричні параметри необхідно враховувати для забезпечення необхідного рівня точності, деталізації та впевненості у результаті. Параметри дослідження подано в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 Параметри досліджувальних елементів для дослідження впливу термомостів в залежності від висоти кріпильних кронштейнів та наявності термопрокладки

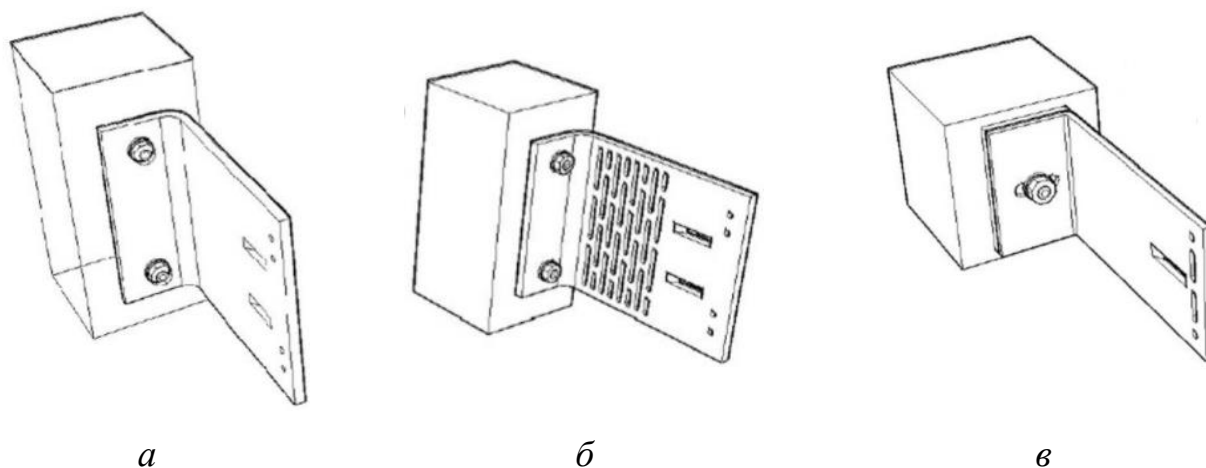
| № | Тип параметра | Діапазон даних параметра | Коментар до параметру |
|---|---|---|---|
| 1 | Тип кронштейна | Повної висоти (рис.3.1-б)/ наполовину висоти (рис.3.1- а) | Кожен окремий кронштейн системи має свій вид теплової поведінки |
| 2 | Товщина стіни, мм | Від 100 до 450 і кроком 50 | Використані найпоширеніші в Україні товщини стін |
| 3 | Теплопровідність матеріалу стіни λ , Вт / (м · К) | 0,2; 0,3; 0,50; 0,75; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 | Найпоширеніші матеріали, що використовуються в стінових елементах |
| 4 | Товщина теплової ізоляції, мм | від 0 до 300 з кроком 25 | Використання найпоширеніших стінових теплоізолюючих матеріалів |
| 5 | Тип анкеру | Синтетичний, сталевий або анкер з хім. домішками | Використовуються три типи анкерів |

Також було проведено дослідження впливу конструкції кріпильних суцільних та перфорованих кронштейнів на теплові характеристики будівель з вентиляваними фасадами.

Відомо, що для підтримки шару облицювання використовуються два типи кронштейнів. Монтажні (несучі) кронштейни для передачі мертвих та вітрових навантажень та стабілізуючі кронштейни, які підтримують облицювання лише проти вітрового навантаження [30]. Ці кронштейни найчастіше виготовляються з алюмінію (висока теплопровідність), проте кращим варіантом для стабілізуючих кронштейнів є нержавіюча сталь. Останні можуть бути перфоровані, як показано на рис. 3.4.

Для оцінки впливу кріпильної системи було проаналізовано дві стіни: залізобетон (теплопровідність – $1,7 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$) та автоклавний газобетон (теплопровідність – $0,16 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$). В обох випадках в якості теплоізоляції використовували мінеральну вату.

Термоміст зазвичай спричиняє виникнення багатовимірного теплового потоку, і тому, враховуючи складну геометрію та значні відмінності в теплофізичних властивостях використовуваних матеріалів [31], стандарт [29] вимагає використання 2D або 3D розрахунків. Була використана система теплового аналізу, що заснована на методі скінченних елементів. Система дозволяє визначати температуру в будь-якій точці моделі, теплові потоки та ефективний коефіцієнт U ($\text{Вт/м}^2\cdot\text{К}$). При граничних умовах вона включає швидкість вітру, випромінювальну здатність стінки та зовнішню температуру.



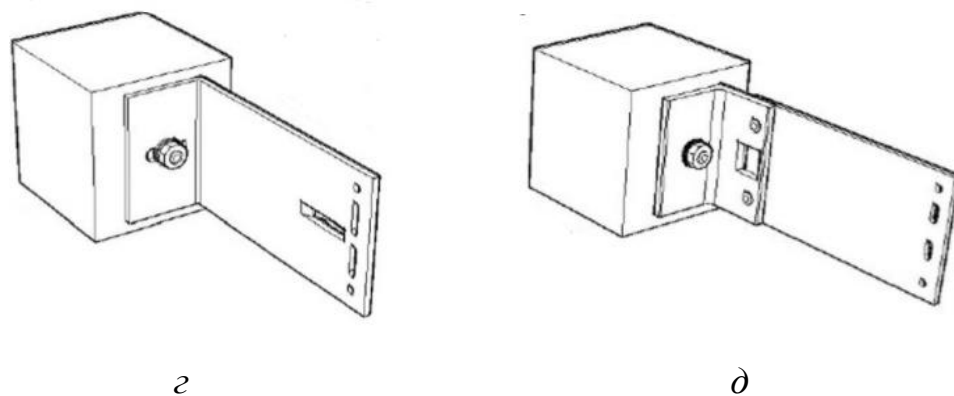


Рисунок 3.4 – Конструкції кронштейнів
для монтажу вентилязованих фасадів:

a – алюмінієвий або нержавіючий кронштейн; *б* – перфорований кронштейн з нержавіючої сталі; *в* – алюмінієвий стабілізуючий кронштейн з термопрокладкою; *г* – алюмінієвий стабілізуючий кронштейн; *д* – стабілізуючий тепловий кронштейн з пластикового кутового кронштейна зі зміщеною алюмінієвою плоскою стійкою

Виконано розрахунки для граничних температурних умов 20°C і -10°C та з урахуванням таких спрощень:

- нехтування тепловим опором за межами вентилязованого зазору, який вважався добре вентиляваним;
- врахування лише симетричних та повторюваних частин стіни.

Для несучого кронштейна $1500\text{ мм} \times 600\text{ мм}$ є репрезентативним розміром елемента стіни. Для стабілізуючих кронштейнів прямокутник розміром $800\text{ мм} \times 600\text{ мм}$ добре відображає елемент стіни. Розрахунки виконано з врахуванням 40000 вузлів.

Вплив точкових теплових мостів можна визначити, порівнюючи розрахований коефіцієнт пропускання, але перерахований до одного квадратного метра, який був отриманий з одновимірного корпусу без теплових мостів. Поділивши кількість кріплень на квадратний метр, ми отримуємо точкову корекцію теплового мосту.

Аналіз проведено для двох типів стін: стіни з автоклавного газобетону та залізобетонної стіни. Передбачалося, що висота становить 3 м, а для аналізу була

взята вертикальна смуга шириною 600 мм. Для стін з автоклавного газобетону передбачалося, що несучі кронштейни встановлені в залізобетонній стяжній балці висотою 200 мм. Аналіз перегородки проводився з урахуванням розподілу стабілізуючих кронштейнів з відстанню кожні 800 мм (вертикально) та кожні 600 мм (горизонтально). Форми та розміри стабілізуючих кронштейнів представлені на рис. 3.5.

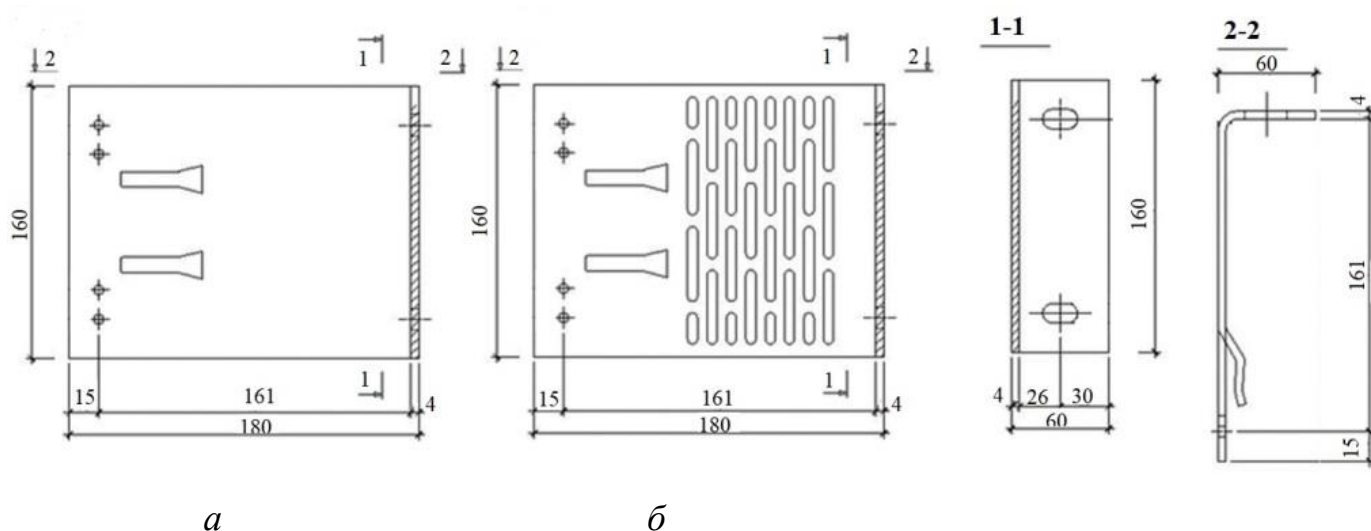


Рисунок 3.5 – Розміри аналізованих несучих кронштейнів:

a – з нержавіючої сталі без перфорації;

б – з перфорацією

Для дослідження впливу стабілізуючих кронштейнів на тепловий опір стінки аналізували на алюмінієвий кронштейн з термопрокладкою або без неї, а кронштейн виготовлений із пластику з теплопровідністю 0,30 Вт/(м·К) (рис.3.6).

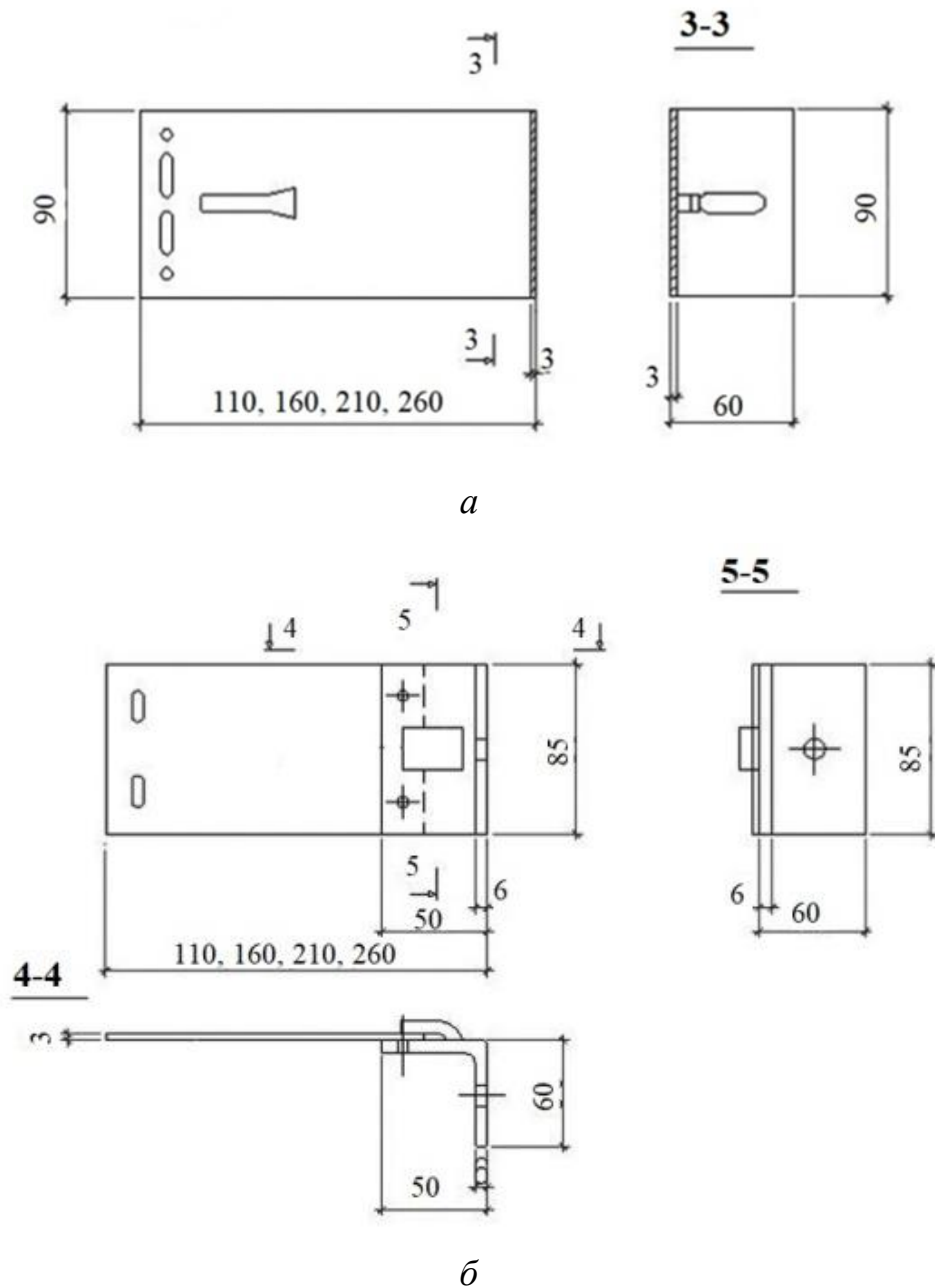


Рисунок 3.6 – Розміри аналізованих стабілізуючих кронштейнів:

a – алюмінієвий кронштейн;

б – термокронштейн, виготовлений із пластикового кутового кронштейна із зміщеною алюмінієвою плоскою стійкою

Для алюмінієвих кронштейнів використано термопрокладки зі спіненого полівінілхлориду (ПВХ) товщиною 5,5 мм та з теплопровідністю 0,12 Вт/(м·К). Вертикальний переріз системи подано на рис. 3.7.

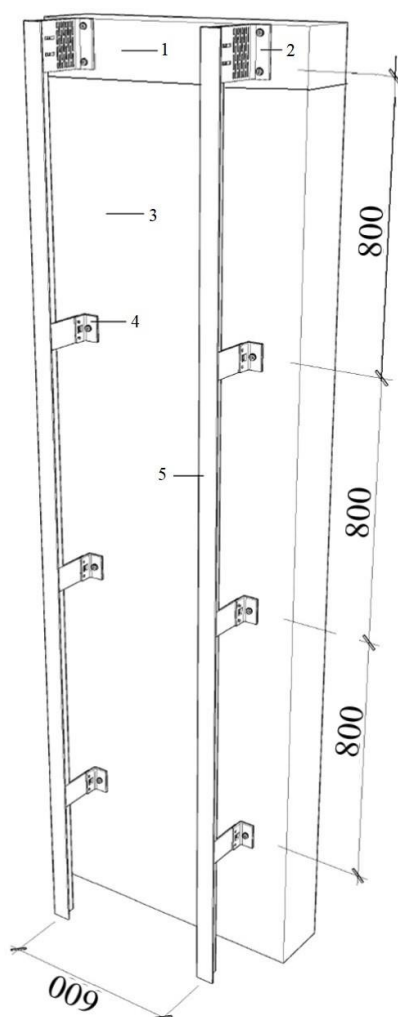


Рисунок 3.7 – Розташування опор для кріпильного каркаса для системи:

1 – залізобетонне перекриття; 2 – несучий кронштейн; 3 – міжповерхова стіна; 4 – проміжний кронштейн; 5 – вертикальна конструктивна стійка

3.1.2 Дослідження впливу термомостів в залежності від висоти кріпильних кронштейнів та наявності терморозривної подушки

Використання термопрокладки є ефективним заходом для зменшення теплових втрат. Вставка термопрокладки, що має низьку теплопровідність, між задньою частиною кронштейна та стіною повинна суттєво мінімізувати втрати тепла. Термічний аналіз підтверджує, що тепловий розрив суттєво змінює тепловий потік в зоні кронштейна (рис. 3.2), а величина залежить від теплопровідності матеріалу та його товщини. Збереження необхідної механічної

міцності значно обмежує використання матеріалів з низькою теплопровідністю, що мають достатню товщину.

Зазвичай ті матеріали, які мають хороші теплоізоляційні властивості, не мають необхідного рівня міцності і навпаки. У більшості випадків такого типу систем найкращим вибором є матеріал із теплопровідністю близько $1 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$ із товщиною не більше 6 мм [32]. Крім того, терморозривна підкладка може зменшити теплопровідність лише шляхом прямого контакту кронштейна зі стіною і не впливає на анкер, що проникає крізь стіну будівлі, як видно на рис.3.8.

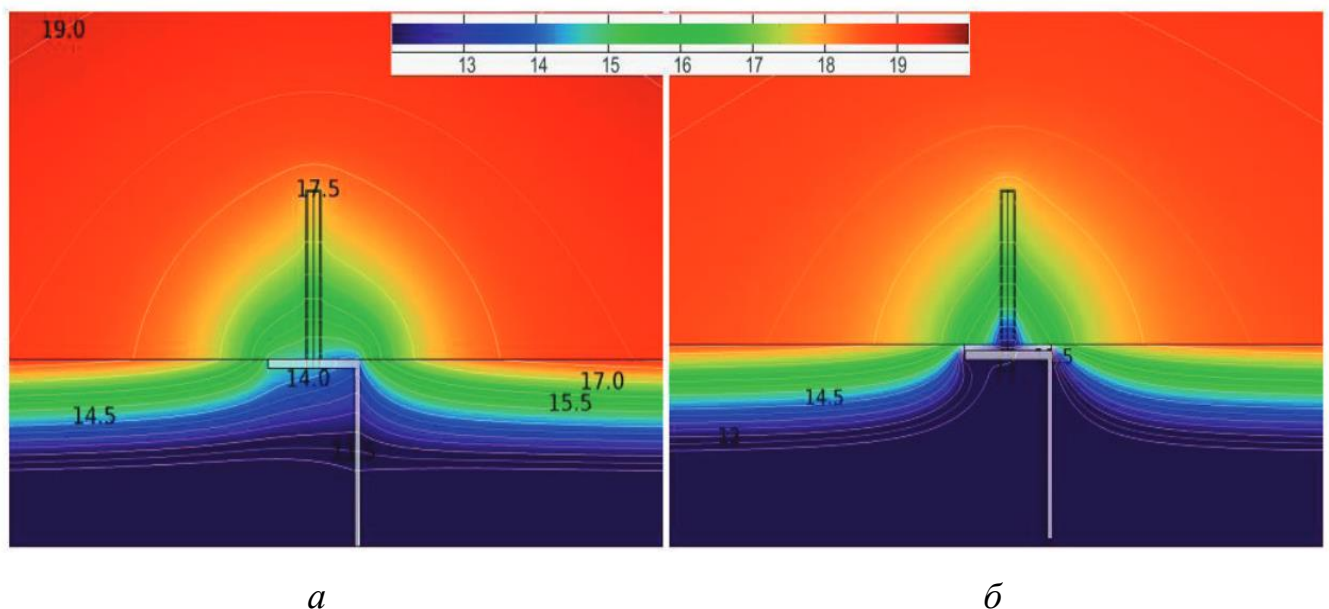


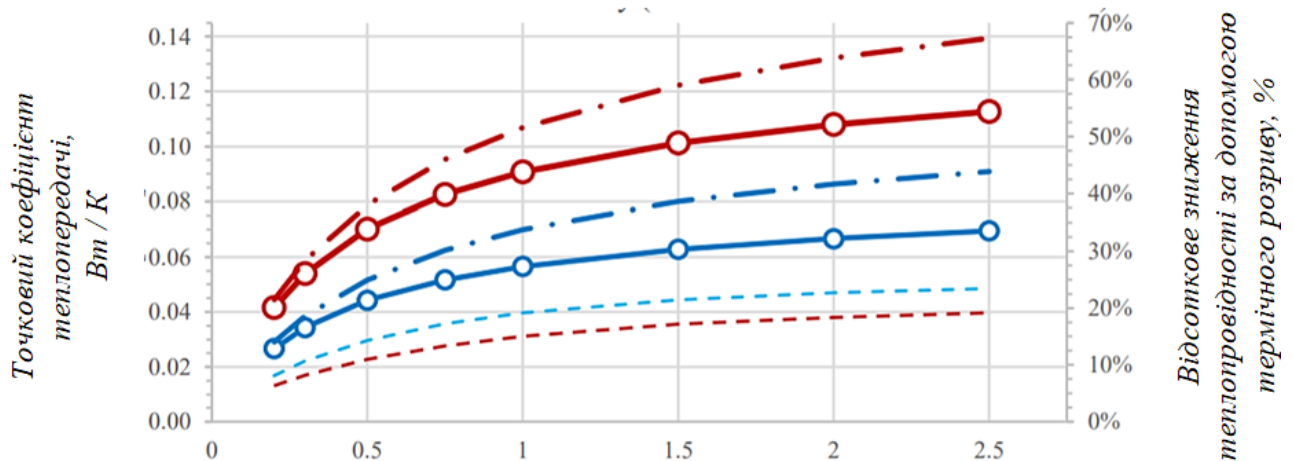
Рисунок 3.8 – Ізотермічні поверхні, що показують розподіл температури на площині, вертикальній до анкера для сценарію:

а – без терморозриву;

б – з терморозривною подушкою







При розриванні прямого контакту алюмінієвого кронштейна і стінки основи тепловий потік значно зменшується (рис. 3.9).

Точковий коефіцієнт теплопровідності (значення χ) як функція теплопровідності матеріалу стінки підкладки (товщина теплоізоляції = 0,20 м)



Значення теплопровідності матеріалу стінки підкладки - λ , Вт / (м · К)

Рисунок 3.9 – Вплив теплового розриву на точковий коефіцієнт теплопередачі при різних значеннях теплопровідності стінки підкладки (для сталевго анкера)

-  — кронштейн повної висоти з терморозривною подушкою;
-  — кронштейн наполовину висоти з терморозривною подушкою;
-  — кронштейн повної висоти;
-  — кронштейн наполовину висоти;
-  — відсоткове зниження теплопровідності для кронштейна повної висоти;
-  — відсоткове зниження теплопровідності для кронштейна наполовину висоти

У випадку, коли матеріал стінки підкладки має малу теплопровідність, а тепловий опір також забезпечується стінкою підкладки, вплив теплового розриву зводиться до мінімуму.

При використанні при спорудженні стіни будівлі з порожнисто-глиняної цегли, що має теплопровідність близько 0,5...0,6 Вт/(м·К), отримаємо збільшення теплового потоку за рахунок відсутності термопрокладки до близько 10% у випадку кронштейна на повну висоту (рис. 3.1, б) і 15% - для одинарної висоти, тоді як використання бетону для спорудження стіни призводить до збільшення теплопровідності майже на 20% і відповідно на 23% для досліджуваних типів кронштейнів.

Більші теплоізолюючі властивості отримуються при використанні кронштейнів на половину висоти (рис. 3.1, *a*), оскільки після вставки термопрокладки тепловий потік направляється через одинарний сталевий анкер, тоді як у випадку з кронштейном на всю висоту площа провідного сталевого матеріалу збільшується вдвічі, зменшуючи додатковий захист, який пропонує така підкладка. Це чітко представлено на рис. 3.8, де тепловий потік в основному концентрується навколо анкера у разі кронштейна з тепловим розривом (рис. 3.8, *б*), тоді як відсутність термопрокладки призводить до плавного розподіленіх температур матеріалу (рис. 3.8, *a*).

Прикріплення вентилязованого фасаду до матеріалів з низькою теплопровідністю є ефективним кроком для мінімізації термомостів. Припускається, що кріплення фасаду до матеріалів з низькою механічною міцністю може виконувати лише другорядну роль, і фасад слід кріпити на матеріали з більшою міцністю, а вони мають більшу теплопровідність [28].

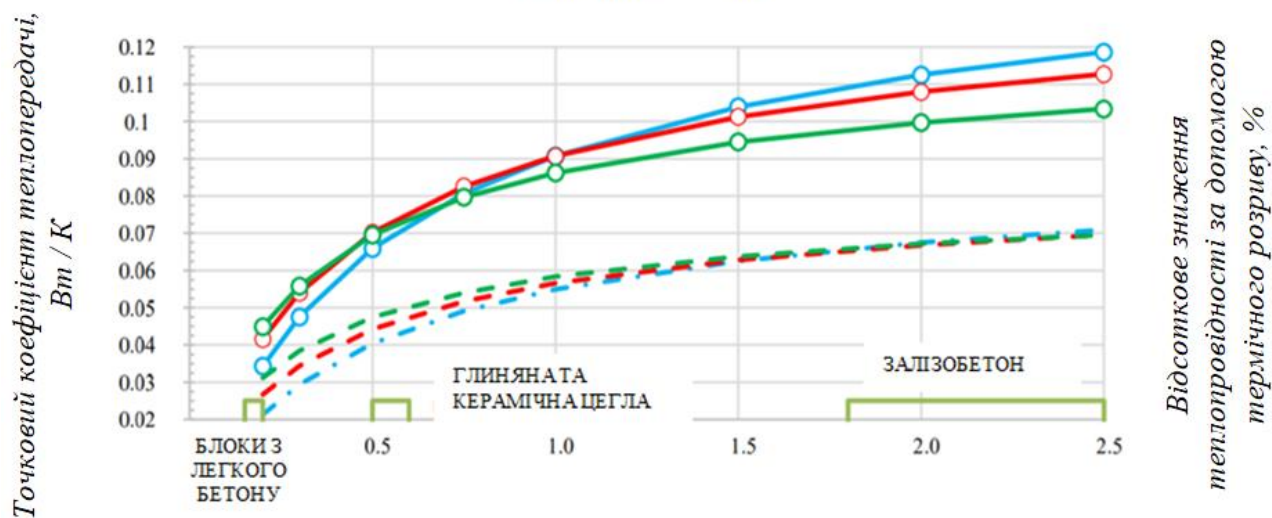
Існуючі стіни в будинках, де може застосовуватися навісний вентиляований фасад, можуть складатися з різноманітних матеріалів, від легких з теплоізоляційними можливостями до важких, таких як залізобетон, який є хорошими теплопровідником.

Дослідження впливу теплопровідності стінки підкладки на точковий коефіцієнт теплопередачі, проведене в ході аналізу, охоплювало діапазон теплопровідності, який включає найпоширеніші будівельні матеріали. Як видно на рис. 3.10, теплопровідність стінового матеріалу коливається у межах 0,2...2,04 Вт/(м·К). Легкий бетон має теплопровідність 0,2 Вт/(м·К), глиняна цегла – 0,60 Вт/(м·К), залізобетон у вигляді колон, балок та бетонних плит – 1,7...2,04 Вт/(м·К), що залежить від складу даного матеріалу.

Аналіз показує, що у конструкціях стін з матеріалів, що мають хороші теплоізоляційні властивості, типи кронштейнів, кількість анкерів, або товщина шару ізоляції відіграє меншу роль в теплопровідності системи, оскільки сама стіна забезпечує високу теплоізоляцію між холодним кронштейном і теплим

внутрішнім приміщенням будівлі. Проте поширеніші матеріали, такі як цегла або бетон, не можуть забезпечити достатній захист, а точковий коефіцієнт теплопропускання може досягати доволі високих значень. Як можна побачити на рис. 3.10, кронштейни на повну висоту мають вищу теплопровідну здатність в порівнянні з одноанкерними кронштейнами на половину висоти.

Точковий коефіцієнт теплової віддачі (значення χ) як функція теплопровідності матеріалу стінки підкладки



Значення теплопровідності матеріалу стіни - λ , Вт / (м · К)

Рисунок 3.10 – Вплив значення теплопровідності матеріалу стіни на точковий коефіцієнт теплопередачі

- синя — товщина 0,1; кронштейн повної висоти;
- червона — товщина 0,2; кронштейн повної висоти;
- зелена — товщина 0,3; кронштейн повної висоти;
- · — синя — товщина 0,1; кронштейн на половину висоти;
- · — червона — товщина 0,2; кронштейн на половину висоти;
- · — зелена — товщина 0,3; кронштейн на половину висоти

Теплоізоляційний шар, розміщений на зовнішній стороні стіни основи, є частиною вентфасаду. Цей параметр є найважливішим, оскільки ефективність таких систем майже повністю залежить від нього. У більшості випадків мінімальна товщина утеплювача накладається нормами та вимогами [18], щоб забезпечити максимально допустимий коефіцієнт теплопропускання елемента

стіни (U-значення). В рамках цього аналізу матеріалом, що використовується для теплоізоляції, вважалася мінеральна вата з теплопровідністю 0,035 Вт/(м·К).

Результати дослідження теплопровідності подано на рис. 3.11.

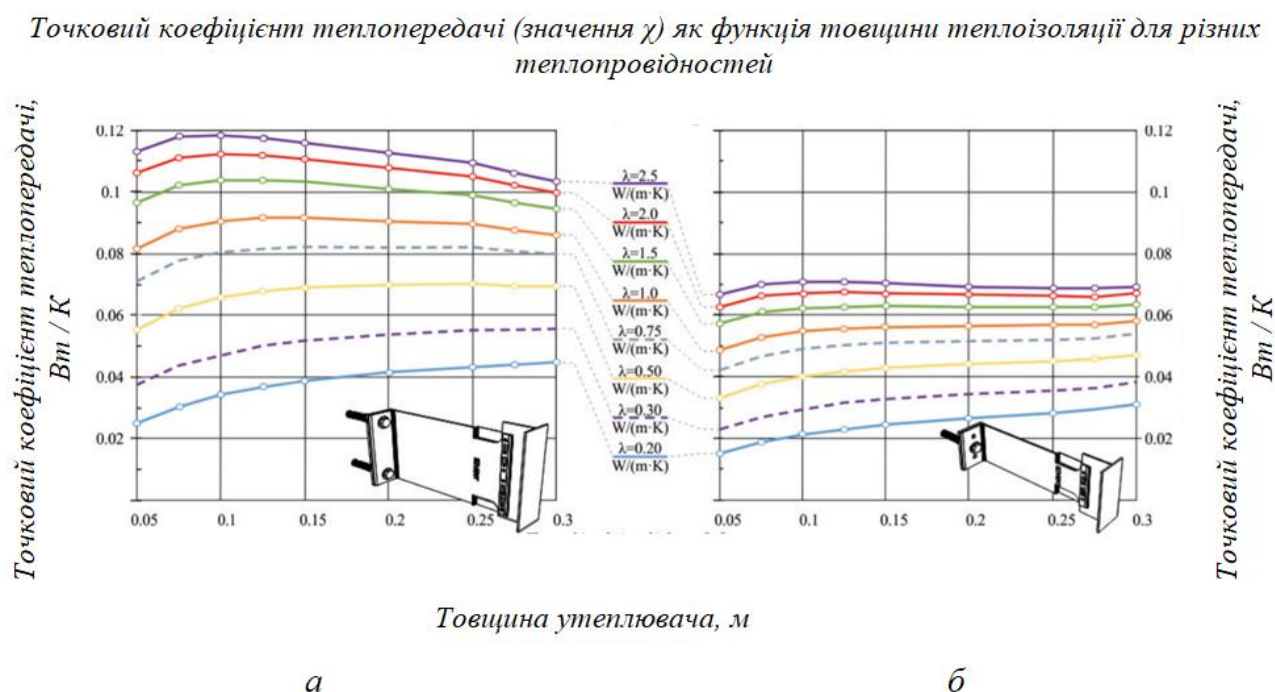


Рисунок 3.11 – Вплив товщини утеплювача з мінеральної вати

$$(\lambda = 0,035 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)})$$

на точковий коефіцієнт теплопередачі для кронштейнів двох видів:

а – кронштейн повної висоти, б – кронштейн на половину висоти

У випадках, коли конструктивні елементи каркасу системи вентиляваного фасаду мають низькі значення теплоізоляційних властивостей, то відбуваються значні втрати тепла через них.

Для використання високого кронштейну повної висоти, очікується, що існуючі стінові матеріали мають теплопровідність більше 0,5 Вт/(м·К), можна зробити висновок, що збільшення товщини теплоізоляції може сприяти невеликому зменшенню теплопровідності, тому, що товщина шару ізоляції є аналогічною довжині, яку тепло має проходити через кронштейн (рис.3.11, а).

При використанні кронштейнів на половину висоти відмінності між різними стіновими матеріалами менші. У зв'язку з вищим термічним опором цього типу

кронштейна, анкери, що проникають через ізоляцію, зменшені на 50% порівняно з попереднім випадком. Отже, теплопровідність самої стіни є менш важливою, оскільки вищий тепловий опір одинарного кронштейна вже зменшив теплові потоки термомостів (рис.3.11, б).

Залежно від обраної основи, можливим вибором матеріалу анкерів є сталь або пластик. У випадку з системою вентфасаду, де якість, умови та старіння матеріалу основи можуть бути невідомої якості, анкери з хімічними домішками є привабливою альтернативою, головним чином через свої механічні властивості.

Тонка суцільна підкладка, що відокремлює кріплення від матеріалу підкладки, виконує роль теплоізолятора, зменшуючи тепловий контакт між стіною та кріпленням, що є найслабшою частиною анкерної системи щодо утворення термомосту.

Теплопровідність досліджуваних матеріалів свідчить про їх значний вплив на ефект утворення теплового мосту. Сталеві анкери мають значення теплопровідності $\lambda=0,65$ Вт/(м·К), порівняно з $\lambda=0,20$ Вт/(м·К) та $\lambda=0,09$ Вт/(м·К) відповідно для пластикових та анкерів з хімічними домішками. З іншого боку, дуже тонкий шар (2...3 мм), що покриває сталевий кріпильний елемент, може свідчити про значимість самого анкера.

Як видно з рис.3.12, значимість анкера збільшується у випадках повної висоти кронштейна та високої теплопровідності матеріалу стіни. Це показує, що анкер з хімічними домішками може зменшити теплові потоки у системі, особливо у випадках, коли інші параметри кріпильної системи не призводять до оптимальної поведінки щодо утворення «містків холоду». Спостерігається зменшення теплопровідності на близько 10%.

Точковий коефіцієнт теплопропускання (значення χ) як функція кріплення матеріалу для різних матеріалів стін та для обох досліджуваних кронштейнів

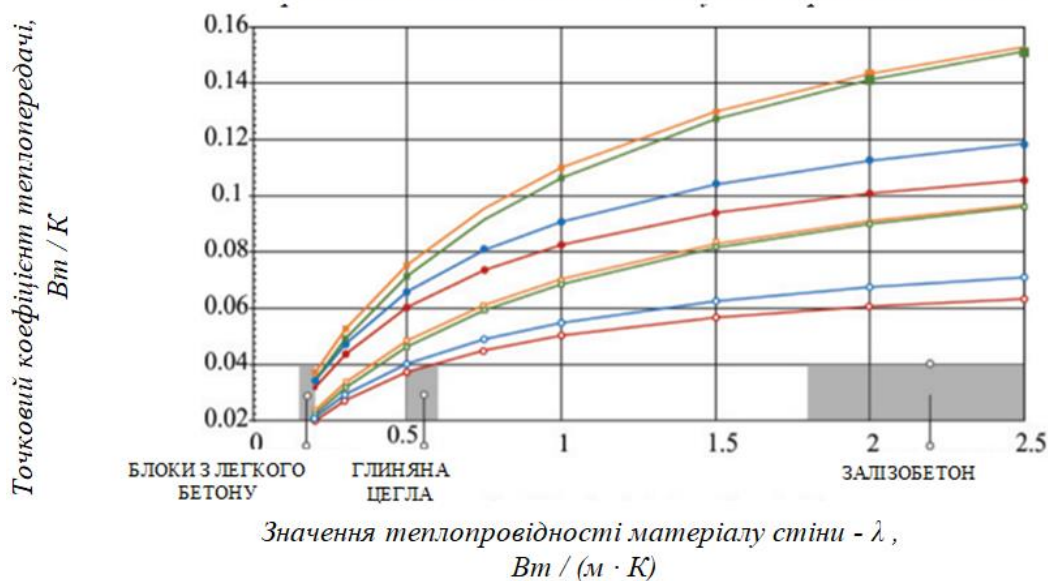


Рисунок 3.12 – Вплив товщини теплоізоляції на точковий коефіцієнт теплопередачі для різноманітної теплопровідності стінки анкеру

- — анкер з хім. домішками з терморозривною подушкою, кронштейн повної висоти;
- — анкер з хім. домішками з терморозривною подушкою, кронштейн на половину висоти;
- — анкер з хім. домішками, кронштейн повної висоти;
- — анкер з хім. домішками, кронштейн на половину висоти;
- — товщина 0,2; кронштейн на половину висоти;
- — товщина 0,3; кронштейн на половину висоти
- — сталевий анкер з терморозривною подушкою, кронштейн повної висоти;
- — сталевий анкер з терморозривною подушкою, кронштейн на половину висоти.

Різниця у значеннях отриманих коефіцієнтів теплопередачі між розчинами з термопрокладкою та без прокладки становить від 7% до 10% для аналізованих товщин. Це не незначні відмінності, але при підвищеному точковому впливі алюмінію на втрати тепла це, на жаль, не дозволяє істотно поліпшити ізоляційні властивості перегородки. При використанні алюмінію в якості кронштейна застосування таких прокладок перевищує необхідні значення теплових властивостей фасаду навіть при товщині теплоізоляції, встановленій на рівні 250 мм.

3.1.3 Дослідження впливу термомостів на теплопровідність системи вентильованого фасаду з урахуванням конструктивних особливостей кріпильних кронштейнів та їх матеріалів

Результати аналізу впливу конструктивних особливостей кронштейнів подано на рис.3.13 для чотирьох варіантів товщини мінеральної вати: 100, 150, 200 і 250 мм. Результати показують виправлення точкових теплових мостів із конструкційних кронштейнів та для стін без точкових мостів. Конструкційні кронштейни (рис. 3.5) мають товщину 4 мм, а площа контакту зі стіною - 60 мм × 160 мм. На рис.3.13 видно, що ефект впливу кронштейнів вищий при вищому тепловому опорі (автоклавний газобетон), наприклад, спостерігається збільшення на 11...13%, тоді як для залізобетонної стіни він становив лише 3...5%.

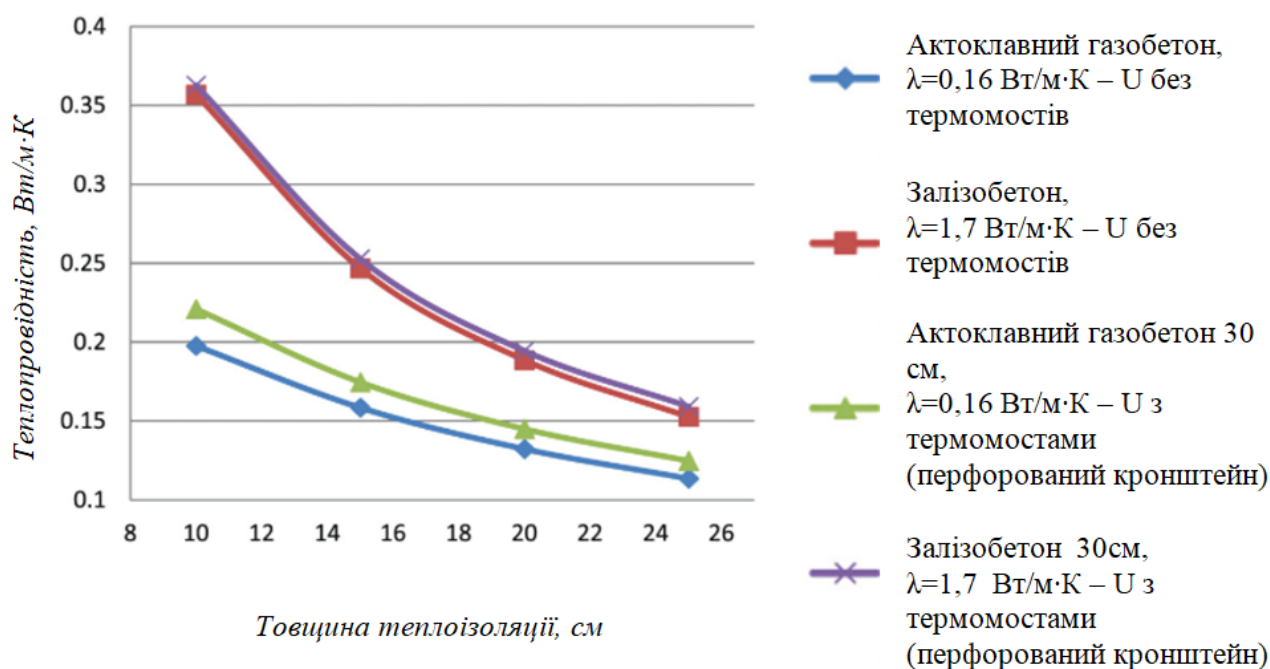


Рисунок 3.13 – Значення коефіцієнтів теплопередачі в залежності від товщини шару теплоізоляції для фасаду з урахуванням впливу додаткових теплових втрат, спричинених наявністю перфорованого кронштейна з нержавіючої сталі

У подальших аналізах розрахунок впливу перфорованих структурних кронштейнів проводився разом із застосуванням різних стабілізуючих

кронштейнів. Застосування алюмінію (з теплопровідністю при 200 Вт/м·К), як стабілізуючого кронштейна, спричиняє значні втрати тепла.

У разі залізобетонної підкладки на межі між залізобетоном та теплоізоляцією температура значно вища, тому посилюється теплообмін. Товщина стабілізуючого кронштейна становить 3 мм, а площа контакту зі стіною – 60 мм×90 мм. У цьому випадку можна спостерігати збільшення теплопровідності всієї перегородки до 46...71% для залізобетонної стіни. Для газобетону це лише 23...28%.

Відстань між кронштейнами визначає кількість вплив на будівельні компоненти стіни. Для всіх проаналізованих випадків кількість стабілізуючих кронштейнів на квадратний метр поверхні становить 2,09 , а для структурних кронштейнів 0,57 на квадратний метр.

На рис.3.14 наведено значення коефіцієнтів теплопровідності різних стін з системою вентиляваного фасаду і перфорованими нержавіючими сталевими кронштейнами з нержавіючої сталі та алюмінієвими стабілізуючими кронштейнами з термопрокладками. При встановленні кронштейна на залізобетонну стіну (з низькою теплоємністю), застосування 5 мм термопрокладки під алюмінієві кронштейни забезпечує збереження тепла на 5...10%. Для стін з газобетону покращення невелике.

На рис. 3.15 подано значення коефіцієнтів теплопровідності різних стін з системою вентиляваного фасаду перфорованими нержавіючими сталевими кронштейнами та алюмінієвими стабілізуючими кронштейнами.

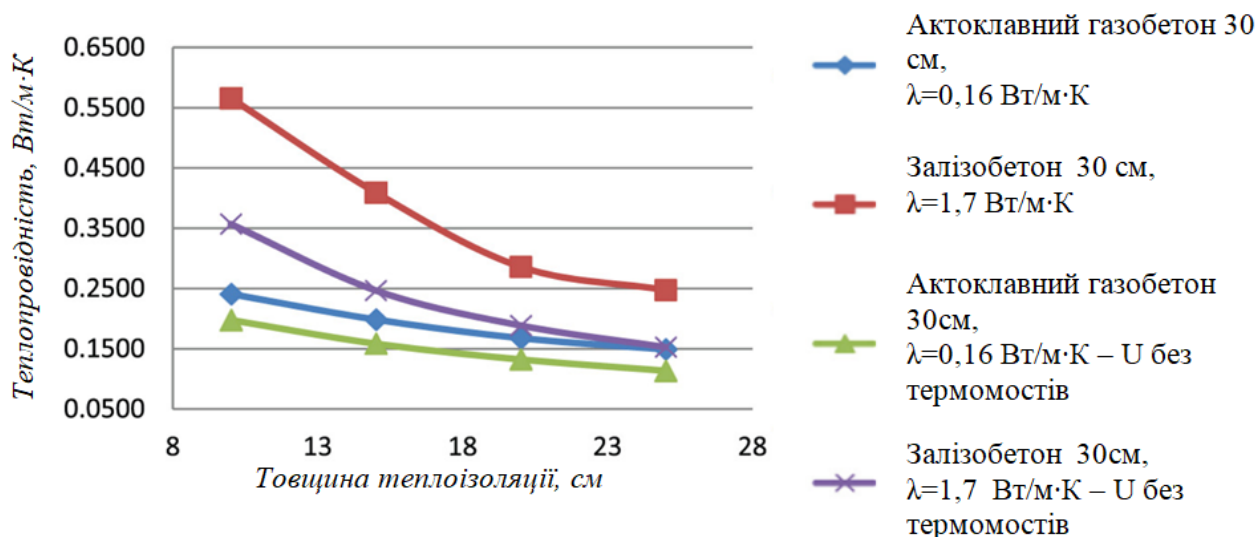


Рисунок 3.14 - Значення коефіцієнтів теплопровідності різних стін з системою вентильованого фасаду і перфорованими нержавіючими сталевими кронштейнами з нержавіючої сталі та алюмінієвими стабілізуючими кронштейнами з термопрокладками

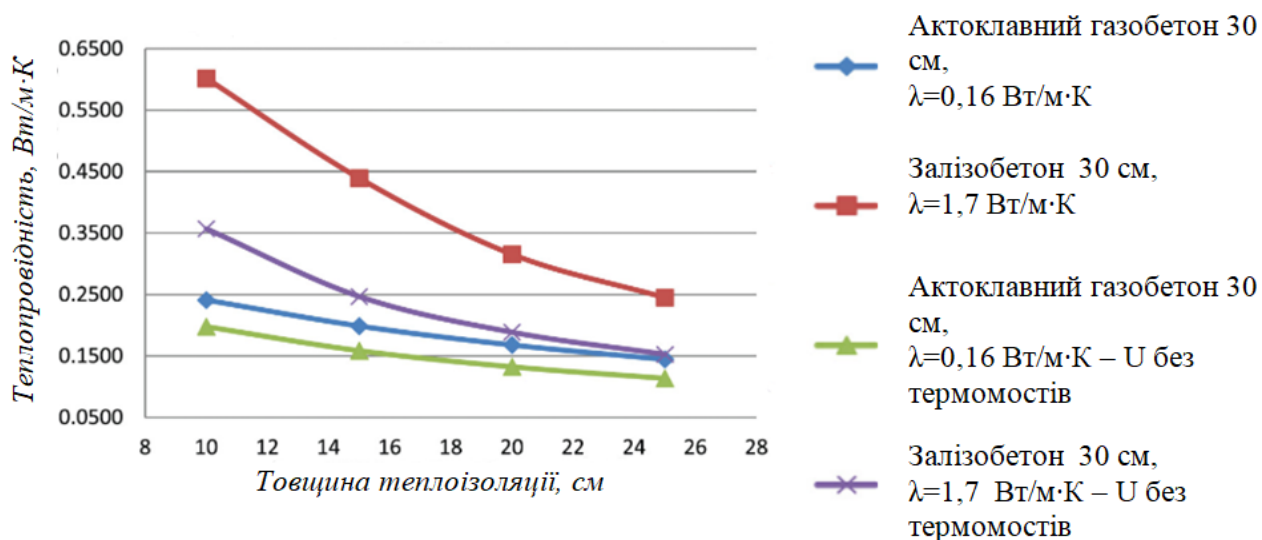


Рисунок 3.15 - Значення коефіцієнтів теплопровідності різних стін з системою вентильованого фасаду перфорованими нержавіючими сталевими кронштейнами та алюмінієвими стабілізуючими кронштейнами

Кілька виробників вентильованих фасадних систем рекомендують використовувати пластик як матеріал для стабілізації кронштейнів. Таким чином, був випробуваний Г-подібний кронштейн (рис.3.11, б) із пластику з

теплопровідністю $\lambda = 0,30 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. На ньому встановлена алюмінієва плоска планка. Таке рішення відокремлює високопровідний алюмінієвий елемент від несучої стіни приблизно на 30 мм, а не лише на 5 мм, як у випадку з термопрокладкою. Вплив такого рішення, зосередженого на стабілізації кронштейна на кінцевому значенні швидкості проникнення тепла, зображено на рис.3.16.

На рис.3.16 показано значення коефіцієнтів теплопровідності стіни з системою вентильованого фасаду з перфорованими нержавіючими сталевими кронштейнами та стабілізуючими кронштейнами з пластику (термокронштейни).

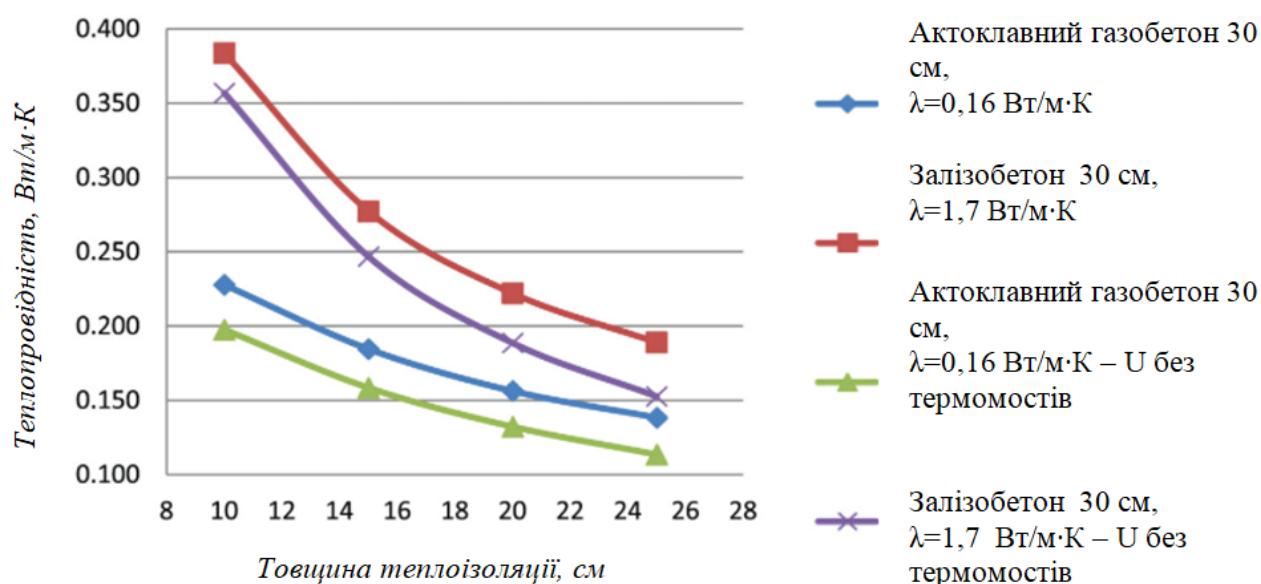


Рисунок 3.16 – Значення коефіцієнтів теплопровідності стіни з системою вентильованого фасаду з перфорованими нержавіючими сталевими кронштейнами та стабілізуючими кронштейнами з пластику (термокронштейни)

Помітно, що використання перфорованих кронштейнів з нержавіючої сталі та термостабільного кронштейна, що стабілізує, суттєво впливає на коефіцієнт пропускання компонента. Для стіни з автоклавного газобетону збільшення становить від 14% до 20% залежно від товщини теплоізоляції, а для залізобетону збільшення становить 7...22%. Значення коефіцієнта теплопровідності є особливо значними для залізобетонної стіни. Контакт між алюмінієвим

кронштейном та залізобетонною стіною спричиняє значно більш інтенсивний теплообмін, ніж у випадку автоклавного газобетону.

Аналізи та результати, представлені в цьому дослідженні та представлені дозволяють оцінити ефект точкових теплових мостів. Тепловий ефект кронштейнів серйозно впливає на втрати тепла. Збільшення товщини шару теплоізоляції не завжди компенсує цей ефект. Збільшення товщини ізоляції спричиняє збільшення деформації кронштейна і, як результат, необхідність збільшення перетину кронштейна. Через це збільшення коефіцієнта теплопередачі буде вищим, ніж отримані результати розрахунку.

Проведені аналізи проводились з припущенням про однакові поперечні перерізи кронштейнів, незалежно від товщини використовуваної ізоляції. З практичної точки зору використання шарів ізоляції з поліпшеною теплопровідністю λ (Вт/м·К) також призведе до інтенсифікації точкових теплових мостів за допомогою кронштейнів та збільшення корекції величини ΔU . Найкращим методом зменшення теплових містків є використання вентиляованих фасадів на стінах з матеріалів з високим термічним опором та використання пластикових ізолюючих кронштейнів.

3.2 Аналіз поширених та підбір оптимальних конструктивних матеріалів для системи вентиляованого фасаду

Згідно з класифікацією збірних систем за конструктивними елементами, що подано у [18] та шляхом аналізу новобудов та існуючих будівель, виконано підбір найпоширеніших стінових матеріалів, що використовуються для спорудження зовнішніх стін при використанні навісних вентиляованих фасадів в нашій країні.

Теплофізичні характеристики згідно з [10] наведено у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 Теплофізичні характеристики досліджуваних стінових матеріалів

| № | Назва матеріалу | Характеристика в сухому стані | | | Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації w, % | | Розрахункові характеристики в умовах експлуатації | | | |
|---|---------------------------------|--------------------------------------|--|---|--|---|---|---|--|------|
| | | Густина ρ_0 , кг/м ³ | Питома теплоємність c_0 , кДж/(кг·К) | Теплопровідність λ_0 , Вт/(м·К) | | | Теплопровідність λ_p , Вт/(м·К) | Коефіцієнт теплотозасвоєння s, Вт/(м ² ·К) | коефіцієнт паропроникності μ , мг/(м·год·Па) | |
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 1600 | 0,88 | 0,47 | 1 | 2 | 0,58 | 0,64 | 7,91 | 0,14 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 500 | 0,84 | 0,12 | 4 | 6 | 0,15 | 0,16 | 2,38 | 2,48 |
| 3 | Піноблок | 600 | 0,84 | 0,14 | 4 | 6 | 0,16 | 0,18 | 2,65 | 0,17 |
| 4 | Залізобетон | 2500 | 0,84 | 1,69 | 2 | 3 | 1,92 | 2,04 | 17,98 | 0,03 |

Товщини стін залежать від конструктивних та геометричних властивостей самого матеріалу, зовнішніх впливів та навантажень на конструкцію. Підбрано найпоширеніші товщини стін, що використовуються під час будівництва багатоповерхових будинків в нашій країні (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Товщини стін, що використовуються в розрахунку

| № | Назва матеріалу | Товщина кладки, мм |
|---|---------------------------------|--------------------|
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 380 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 300 |
| 3 | Пінобетонні блоки | 300 |
| 4 | Залізобетон | 300 |

Підбрані матеріали для утеплення при використанні системи вентильованого фасаду, згідно п.1.4.2, п. 2.2 наведено у табл. 3.4.

Так, як окремі види утеплювача мають високий ступінь горючості, при використанні вентиляваного фасаду для теплоізоляції будівель згідно з [32], [33] не рекомендується застосовувати утеплювачі на основі полімерних матеріалів (пінополістирол, пінополіетилен, пінополіуретан, пінопласт).

Таблиця 3.4 Тепло-фізичні властивості досліджуваних теплоізолюючих матеріалів

| № | Назва матеріалу | Густина ρ_0 , кг/м ³ | Питома теплоємність c_0 , кДж/(кг·К) | Теплопровідність в сухому стані λ_0 , Вт/(м·К) | Розрахунковий вміст вологи за масою в умовах експлуатації w, % | | Розрахункова теплопровідність λ_p , Вт/(м·К) | | Коефіцієнт теплотасвоєння s , Вт/(м ² ·К) | Коефіцієнт паропроникності μ , мг/(м·год·Па) |
|---|---|--------------------------------------|--|--|--|----|--|-------|--|--|
| | | | | | | | | | | |
| 1 | Мінеральна вата на базальтовому волокні | 75 | 0,84 | 0,037 | 0,5 | 1 | 0,043 | 0,047 | 0,5 | 0,5 |
| 2 | Скловолокно | 70 | 0,84 | 0,032 | 1 | 3 | 0,042 | 0,045 | 0,47 | 0,45 |
| 3 | Вермикулітові плити на основі перліту | 500 | 0,84 | 0,075 | 10 | 15 | 0,098 | 0,108 | 0,92 | 0,198 |
| 5 | Піноскло | 120 | 0,84 | 0,045 | 0,5 | 1 | 0,053 | 0,054 | 0,65 | 0,002 |

Проведено розрахунок опору теплопередачі для зовнішньої стіни з вентиляваним повітряним прошарком згідно п.2.2, з урахуванням утеплювача з мінеральної вати, для товщин утеплювача 50мм, 100мм, 150мм, 200мм, 250мм. Результати розрахунку наведено у табл. 3.5

Таблиця 3.5 – Приведений опір теплопередачі конструкції зовнішньої стіни з системою навісного вентиляваного фасаду (утеплювач мінеральна вата на базальтовому волокні)

| № | Матеріал стіни | Товщина стіни, м | Товщина утеплювача з мінеральної вати | | | | |
|---|---------------------------------|------------------|---------------------------------------|------|------|------|------|
| | | | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 0,38 | 1,85 | 2,88 | 3,89 | 4,90 | 5,88 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 0,3 | 3,56 | 4,57 | 5,56 | 6,54 | 7,51 |
| 3 | Піноблоки | 0,3 | 2,89 | 3,90 | 4,90 | 5,89 | 6,86 |
| 4 | Залізобетон | 0,3 | 1,41 | 2,45 | 3,47 | 4,48 | 5,47 |

Отже, виходячи з даних табл. 3.5 для досліджуваних стін з різною товщиною утеплювача з мінеральної вати буде:

- керамічна порожниста цегла – 150 мм;
- блоки автоклавного газобетону – 50 мм;
- піноблоки – 100 мм;
- залізобетон – 150 мм.

Проведено розрахунок опору теплопередачі для зовнішньої стіни з вентиляваним повітряним прошарком згідно п. 2.2, з урахуванням утеплювача з скловолокна, для товщин утеплювача 50 мм, 100 мм, 150 мм, 200 мм, 250 мм. Результати розрахунку наведено у табл. 3.6

Таблиця 3.6 – Приведений опір теплопередачі конструкції зовнішньої стіни з системою навісного вентиляваного фасаду (утеплювач скловолокно)

| № | Матеріал стіни | Товщина стіни, м | Товщина утеплювача з скловолокна | | | | |
|---|---------------------------------|------------------|----------------------------------|------|------|------|------|
| | | | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 0,38 | 1,89 | 2,97 | 4,03 | 5,07 | 6,10 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 0,3 | 3,61 | 4,66 | 5,69 | 6,71 | 7,72 |
| 3 | Піноблоки | 0,3 | 2,93 | 3,99 | 5,04 | 6,06 | 7,08 |
| 4 | Залізобетон | 0,3 | 1,46 | 2,54 | 3,60 | 4,65 | 5,69 |

Отже, виходячи з даних табл. 3.6 для досліджуваних стін достатньою товщиною утеплювача з скловолокна буде:

- керамічна порожниста цегла – 150 мм;
- блоки з автоклавного газобетону – 50 мм;
- піноблоки – 100 мм;
- залізобетон – 150 мм.

Проведено розрахунок опору теплопередачі для зовнішньої стіни з вентиляльованим повітряним прошарком згідно п. 2.2, з урахуванням утеплювача з вермикулітових плит на основі перліту, для товщин утеплювача 50 мм, 100 мм, 150 мм, 200 мм, 250 мм. Результати розрахунку наведено у табл. 3.7

Таблиця 3.7 - Приведений опір теплопередачі конструкції зовнішньої стіни з системою навісного вентиляльованого фасаду (утеплювач вермикулітові плити на основі перліту)

| № | Матеріал стіни | Товщина стіни, м | Товщина утеплювача з вермикулітових плит на основі перліту | | | | |
|---|---------------------------------|------------------|--|------|------|------|------|
| | | | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 0,38 | 1,26 | 1,71 | 2,16 | 2,61 | 3,06 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 0,3 | 2,99 | 3,43 | 3,87 | 4,31 | 4,75 |
| 3 | Піноблоки | 0,3 | 2,31 | 2,75 | 3,20 | 3,64 | 4,08 |
| 4 | Залізобетон | 0,3 | 0,82 | 1,28 | 1,73 | 2,18 | 2,63 |

Отже, виходячи з даних табл. 3.7 для досліджуваних стін з різною товщиною утеплювача з вермикулітових плит на основі перліту буде:

- керамічна порожниста цегла – ≥ 250 мм;
- блоки з автоклавного газобетону – 100 мм;
- піноблоки – 200 мм;
- залізобетон – ≥ 250 мм.

Проведено розрахунок опору теплопередачі для зовнішньої стіни з вентиляльованим повітряним прошарком згідно п. 2.2, з урахуванням утеплювача з піноскла, для товщин утеплювача 50 мм, 100 мм, 150 мм, 200 мм, 250 мм. Результати розрахунку наведено у табл. 3.8

Таблиця 3.8 - Приведений опір теплопередачі конструкції зовнішньої стіни з системою навісного вентиляльованого фасаду (утеплювач піноскло)

| № | Матеріал стіни | Товщина стіни, м | Товщина утеплювача з піноскла | | | | |
|---|---------------------------------|------------------|-------------------------------|------|------|------|------|
| | | | 0,05 | 0,1 | 0,15 | 0,2 | 0,25 |
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 0,38 | 1,71 | 2,61 | 3,50 | 4,38 | 5,24 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 0,3 | 3,43 | 4,31 | 5,18 | 6,04 | 6,88 |
| 3 | Піноблоки | 0,3 | 2,75 | 3,64 | 4,52 | 5,38 | 6,23 |
| 4 | Залізобетон | 0,3 | 1,28 | 2,18 | 3,07 | 3,96 | 4,83 |

Отже, виходячи з даних табл. 3.8 для досліджуваних стін достатньою товщиною утеплювача з піноскла буде:

- керамічна порожниста цегла – 150 мм;
- блоки з автоклавного газобетону – 50 мм;
- піноблоки – 100 мм;
- Залізобетон – 200 мм.

Підсумовуючи табл. 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, отримуємо зведену таблицю товщин утеплювачів (табл. 3.9)

Проведено аналіз ціноутворення та виробництва утеплювальних матеріалів на українському ринку. Виробниками, що виготовляють мінераловатні утеплювачі є «ТЕХНОКОЛЬ», «ROOKWOOL», «TERMOLIFE», «IZOVAT» та інші. Виробниками утеплювач на основі скловолокна є «KNAUF», «STARFLEX ODE», «ПРОФІТЕП» та «НЕМАН +11Лайф». Що стосується вермикулітових плит на основі пеліту то виробником таких утеплювальних матеріалів є «УКРВЕРМИКУЛІТ». Усереднені показники вартості 1м² утеплювачів на основі аналізу вартостей від різних виробників наведено у табл. 3.10.

Таблиця 3.9 – Зведена таблиця оптимальних товщин утеплювача

| № | Назва матеріалу стіни | Назва матеріалу утеплювача | | | |
|---|---------------------------------|----------------------------|-------------|---------------------------------------|----------|
| | | Мінеральна вата | Скловолокно | Вермикулітові плити на основі перліту | Піноскло |
| 1 | Керамічна порожниста цегла | 150 | 150 | ≥250 | 150 |
| 2 | Блоки з автоклавного газобетону | 50 | 50 | 100 | 50 |
| 3 | Піноблок | 100 | 100 | 200 | 100 |
| 4 | Залізобетон | 150 | 150 | ≥250 | 200 |

Таблиця 3.10 – Усереднені вартості 1м² утеплювальних матеріалів

| № | Назва матеріалу стіни | Товщина утеплювача, мм | | | | |
|---|-----------------------|------------------------|-------|--------|--------|---------|
| | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 |
| 1 | Мінеральна вата | 134,6 | 163,4 | 276,1 | 326,8 | 461,4 |
| 2 | Скловолокно | 87,3 | 123,4 | 147,5 | 246,8 | 334,1 |
| 3 | Вермикулітові плити | 1335,3 | 2270 | 3405,2 | 4540,2 | 6356,1 |
| 4 | Піноскло | 345 | 586,5 | 997,05 | 1694,9 | 2881,55 |

При виборі утеплювача для стіни з використанням вентильованого фасаду необхідно враховувати матеріал, що використовується в каркасі. Мінераловатні утеплювачі придатні до використання з будь-якими підсистемами і облицювальними матеріалами. Що стосується скловолнистих негорючих плит, то у системі вентильованого фасаду з використанням сталевих підконструкцій, що є не горючими можливе використання таких утеплювачів. При використанні алюмінієвого каркасу скловолокно використовувати не рекомендується через те, що при температурі вище 560°C розпочинається спікання скловолокнистого матеріалу, в результаті чого даний утеплювач осідає та оголюються кріпильні кронштейни, що призводить до теплових втрат. При попаданні вогню у повітряний прошарок кріпильна система з алюмінію може повністю втратити свою несучу здатність. Що призведе до втрати стійкості всього вентильованого фасаду. Усі кріпильні підсистеми, як з алюмінію, так і з оцинкованої сталі слід виконувати відповідно до [34], [35], [36].

Отже, приймаємо для досліджуваних стін такі оптимальні варіанти утеплення, на основі табл. 3.9 та табл. 3.10:

- керамічна порожниста цегла - мінеральна вата товщиною 150мм;
- блоки з автоклавного газобетону – мінеральна вата товщиною 50 мм;
- піноблок – мінеральна вата товщиною 100 мм;
- залізобетон – мінеральна вата товщиною 150 мм.

Так як, система навісного вентиляованого фасаду, схильна до періодичного зволоження та, як наслідок, утворення конденсату, то необхідно улаштувати повітро-вологозахисну мембрану, що унеможливить утворення такого явища. Кожен теплоізоляційний матеріал має свою величину утворення рН конденсату та кожен сплав на кислотність середовища реагує по різному, тому улаштування такої мембрани є обов'язковим. Вчені виявили, що різні теплоізоляційні матеріали дають абсолютно різну величину рН-конденсату [37].

У наш час застосовується такі облицювальні матеріали для вентиляованого фасаду: керамогранітні плити; композитні матеріали на основі алюмінію; цементно-волокнисті листи або цементний камінь; металеве лицювання, касети, панелі тощо.

3.3 Економічне обґрунтування використання отриманої оптимізованої системи

За результатами проведеного дослідження кріпильних систем та в ході порівняльного аналізу матеріалів, отримано усереднені показники вартості 1м² навісного вентиляованого фасаду з урахуванням матеріалу захисних опоряджувальних екранів. Розрахункова усереднена вартість 1 м² системи вентиляованого фасаду з різними типами облицювання, на основі табл. 3.9 та табл. 3.10, наведено у табл. 3.11

Таблиця 3.11 – Розрахункова усереднена вартість 1м² вентиляваного фасаду з врахуванням ПДВ

| № | Вид вентиляваного фасаду | Вартість облицювання 1м ² , грн | Вартість утеплювача 1м ² 50 мм, грн | Вартість утеплювача 1м ² 100 мм, грн | Вартість утеплювача 1м ² 150 мм, грн | Вартість кріпильних систем, грн | Вартість 1м ² вентфасаду з утепленням 50мм, грн | Вартість 1м ² вентфасаду з утепленням 100мм, грн | Вартість 1м ² вентфасаду з утепленням 150мм, грн |
|---|---|--|--|---|---|---------------------------------|--|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Вентильований фасад з керамогранітом | 350 | 134,6 | 163,4 | 276,1 | 420 | 904,6 | 933,4 | 1046,1 |
| 2 | Вентильований фасад з фіброцементними плитами | 363 | 134,6 | 163,4 | 276,1 | 436,8 | 934,4 | 963,2 | 1075,9 |
| 3 | Вентильований фасад з композитними панелями | 370 | 134,6 | 163,4 | 276,1 | 441 | 945,6 | 974,4 | 1087,1 |
| 4 | Вентильований фасад з металевими касетами | 630 | 134,6 | 163,4 | 276,1 | 357 | 1121,6 | 1150,4 | 1263,1 |
| 5 | Вентильований фасад з металевого сайдингу | 540 | 134,6 | 163,4 | 276,1 | 268,8 | 943,4 | 972,2 | 1084,9 |

3.4 Висновки за розділом 3

За результатами дослідження та проведених аналізів, поданих в цьому розділі, оцінено вплив точкових термомостів на систему вентиляваного фасаду. Термомости, що зосереджуються у місцях з'єднання кріпильної системи з зовнішньою стіною будівлі спричиняють суттєві втрати тепла для огорожуючих конструкцій. Збільшення товщини шару теплоізоляції не завжди компенсує цей вплив на систему, а також збільшує деформацію кріпильного кронштейна. У результаті виникає необхідність збільшення перетину кронштейна. Як наслідок

збільшується площа стику кронштейна зі стіною. Через це коефіцієнт теплопровідності всієї конструкції буде суттєво вищим.

Аналізи проводились з припущенням про однакові поперечні перерізи кронштейнів, незалежно від товщини використовуваної ізоляції. З практичної точки зору використання шарів ізоляції з поліпшеною теплопровідністю λ (Вт/м·К) призведе до інтенсифікації точкових теплових мостів за допомогою кронштейнів та збільшення корекції величини ΔU . Найкращим методом зменшення термомостів є використання вентиляованих фасадів на стінах з матеріалів з високим термічним опором та використання пластикових ізолюючих кронштейнів.

Шляхом розрахунку опору теплопровідності елементів конструкцій зовнішніх стін, з урахуванням впливу кріпильного каркасу вентиляованого фасаду, отримано оптимальні товщини утеплювального матеріалу для найбільш поширених типів стін. Після чого розраховано усереднені вартості 1 м^2 з різними типами облицювальних матеріалів.

РОЗДІЛ 4

РЕКОМЕНДАЦІЇ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати досліджень мають важливе значення в світлі сучасних вимог до енергоефективності будівель як для подальших наукових досліджень, так і практичної реалізації для нових і тих, що знаходяться в експлуатації, будівель. Їх рекомендовано застосовувати при:

- проектуванні та будівництві багатоповерхових та малоповерхових будівель;
- розробленні заходів термомодернізації та реконструкції існуючих будівель та споруд;
- розрахунку теплових характеристик вентиляваного фасаду;
- монтажі огорожуючих конструкцій з улаштуванням системи навісного вентиляваного фасаду;
- розрахунку та підборі матеріалів для системи кріпильного каркаса вентиляваних фасадів.

При використанні результатів досліджень слід враховувати особливості кожної будівлі і вимоги, які ставляться до них, наявність матеріалів, які використовують для системи вентиляваного фасаду, техніко-економічну доцільність прийнятого для реалізації проектного варіанту.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці [38,39]. Охорона праці є невід'ємною частиною виробничого процесу.

Законодавство України про охорону праці являє собою систему взаємозв'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Воно складається з Закону України «Про охорону праці», Кодексу законів про працю України, Закону України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності" та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів.

Основоположним документом в галузі охорони праці [40], що визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я у процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних державних органів відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Інші нормативні акти мають відповідати не тільки Конституції та іншим законам України, але, насамперед, цьому Законові.

Також є велика кількість державних міжгалузевих та галузевих нормативних актів про охорону праці (норми, правила, положення, інструкції, переліки тощо).

5.2 Вимоги з техніки безпеки і охорони праці при проведенні робіт по утепленню фасадів будівель і споруд

До початку робіт усі робітники і інженерно-технічний персонал повинні бути ознайомлені із проектом виробництва робіт або з технологічною картою. На території будівельного об'єкту перед початком робіт по улаштуванню елементів фасаду повинні бути визначені зони, небезпечні для робіт і проходи людей.

До початку робіт необхідно:

- визначити місця складування і зберігання матеріалів, обладнання і інструментів на будівельному майданчику;
- забезпечити будівельний об'єкт питною і технічною водою, а також засобами для надання першої медичної допомоги;
- обладнати місця відпочинку робітників;
- забезпечити всіх робітників засобами індивідуального захисту і проінструктувати про порядок користування та догляду за ними.

Організація робочих місць на будівництві повинна забезпечувати безпеку виконання робіт. Робітники, які працюють на обладнанні теплоізоляції, забезпечуються робочим одягом відповідно до діючих норм. Місця, де є небезпека появи або утворення шкідливого газу, перед допуском робітників, повинні ретельно провітрюватися також робітники, що працюють у місцях можливого утворення або появи шкідливого газу, повинні забезпечуватися протигазами або кисневими приладами. Відкриті отвори в стінах, які розташовані на рівні перекриття, або робочого настилу, або на висоті менше 0,7 м від них, а іншим боком повернені убік, і де немає суцільного настилу, повинні бути огорожені на висоту не менше 1 м. Отвори в перекриттях, до яких можливий

доступ людей, повинні бути закритими або мати огорожу висотою не менше 1 м по всьому периметру.

При виконанні робіт на висоті більше 1,1 м і при неможливості виконання настилів з огорожами робітники повинні бути забезпечені запобіжними поясами.. Запобіжні пояси, їх ланцюги і канати, які видаються робітникам, повинні мати паспорти і бірки. У разі відсутності паспортів поясів до їх застосування повинні бути проведені випробування відповідно з діючими ДСТУ.

Робітники, які обслуговують машини і керують ними, повинні мати інструкцію, в якій вказані вимоги з техніки безпеки, вказівки з системи сигналів, правила управління машиною і доглядом за робочим місцем, вказівки про граничні навантаження і допустимі швидкості роботи машини, а також вказівки про можливі об'єднання операцій.

Наладка, установка, реєстрація, огляд і експлуатація підйомних пристосувань повинні виконуватися відповідно до вимог діючих правил Держміськтехнагляду.

До роботи з електрифікованим і пневматичним інструментом допускаються тільки робітники, що пройшли спеціальне навчання. Робота несправним механізованим інструментом забороняється. Включати в мережу електродвигуни, електроінструменти, прилади електричного освітлення і т. п. необхідно тільки за допомогою існуючих для цих цілей приладів; виконувати включення і виключення скручуванням дротів забороняється.

Обрешітка, що використовується на будівництві, повинно бути інвентарним і виготовлятися за типовими проектами. При виготовленні, установці і експлуатації всіх видів обрешетування (трубних, рамних, сходових, підйомних, пересувних, випускних і підвісних колисок, драбин і приставних драбин) необхідно дотримуватися всіх вимог, викладених в «Правилах техніки безпеки для будівельно-обладнальних робіт».

До робіт із застосуванням сухих сумішей допускаються особи, що досягли вісімнадцяти років і які пройшли:

- професійну підготовку;
- попередній медичний огляд відповідно до вимог Мінохоронздоров'я України;
- ввідний інструктаж з безпеки праці, виробничої санітарії, пожежної і електробезпеки. Періодичність проведення інструктажів на робочих місцях і перевірка знань робітників по безпечному виконанню робіт повинні відповідати «Типовому положенню про навчання, інструктаж та перевірку знань з питань охорони праці», яке затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 04.04.98 р. № 30.

Небезпеки, які можуть виникнути при роботі з обладнанням при виконанні робіт з теплоізоляції фасаду.

Механічні травми при:

- порушенні правил виконання навантажувально-розвантажувальних робіт;
- неправильному обладнанні та експлуатації риштувань, настилів на риштуваннях, сходів і містків;
- доторку до необгороджених рухомих частин машин і механізмів, що обертаються;
- невикористанні або неправильному використанні засобів захисту від травм;
- наявності шорсткості і гострих країв в інструментах, що використовуються.

Електротравми при можуть виникнути при доторку до оголених електропроводів, металевих неструмоведучих частин устаткування, що опинилися під напругою через відсутність заземлення або занулення, а також через порушення ізоляції проводів.

До початку робіт по безпосередньому проведенні робіт з теплоізоляції будинків потрібно:

- визначити місця складування і збереження матеріалів, устаткування, інструменту на будівельному майданчику;

- встановити будівельні інвентарні риштування для безпеки падіння з них інструментів, матеріалів, відходів; встановити огорожі, драбини для підйому робітників захистити поручнями;

- входи в будівлю зверху захистити навісом завширшки, що перевищує ширину входу з вильотом не менше 3 метрів від стіни будівлі;

- забезпечити чергове освітлення будівельного майданчика;

- забезпечити об'єкт питною і технічною водою;

- встановити знаки безпеки в місцях, що становлять небезпеку в процесі переміщення людей;

- обладнати місця відпочинку робітників;

- перевірити риштування рівномірно розподіленим навантаженням – 200 кг/м²; горизонтальні елементи риштувань перевірити зосередженим вантажем 130 кг; поручні перевірити зосередженим навантаженням 70 кг;

- перевірити щілину між стіною і настилом (повинна бути не більше 150 мм);

- обладнати ділянки по підготовці матеріалів (розпилювання плит утеплювача; приготування робочого складу з сухої суміші);

- забезпечити всіх робітників індивідуальними засобами захисту;

Перед початком робіт на об'єкті з робітниками повинен бути проведений інструктаж про прийоми і способи роботи, що забезпечують дотримання правил техніки безпеки відповідно до «Типових положень про навчання, інструктаж та перевірку знань робітників з питань охорони праці».

Перед початком робіт перевіряється:

- надійність встановлених риштувань;

- правильність розподілу навантаження на настилах риштувань; стан підйомних механізмів, кабелів, шлангів;

- робота устаткування на холостому ходу;

- наявність і стан засобів індивідуального захисту.

Каркаси риштувань повинні бути стійкі, міцно прикріплені до стіни і мати надійну опору. Кінці настилів повинні розташовуватися на опорах. Щілина між дошками настилів допускається не більше 10 мм. Товщина дошок повинна бути не менше 50 мм. Неприпустимо розташування стиків настилу і дошок між опорами. Бортова дошка повинна бути заввишки не менше 150 мм від рівня настилу. Максимальний прогин настилу від навантаження, що розташовується на настилі, не повинен перевищувати 0,02 м.

Підйомні механізми, використовуване устаткування повинні бути в справному стані. Робота на несправному устаткуванні забороняється. Устаткування повинно бути забезпечене необхідними засобами безпеки. Корпуси всіх механізмів, ручних машин повинні бути заземлені. Місця з'єднань кабелів повинні бути ізольовані.

Всі робітники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту

- касками;
- респіраторами типу ШБ-1 "Лепесток" по ГОСТ 12.4.028;
- окулярами;
- комбінезонами по ГОСТ 12.4.029, ГОСТ 12.4.100;
- рукавицями;
- взуттям;
- запобіжними поясами (тільки ті робітники, які працюють на риштуваннях).

5.3 Законодавча та нормативна база щодо захисту працівників в надзвичайних ситуаціях

Захист працівників підприємства в надзвичайних ситуаціях є невід'ємною частиною державної політики національної безпеки і державного будівництва. Захист населення і працівників організуються і здійснюється відповідно до вимог Конституції України (1996 р.).

02.10.2012 р. Верховною Радою України був прийнятий Кодекс цивільного захисту України, який регулює відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайної ситуації, реагуванням на них, функціонуванням єдиної державної системи цивільного захисту, та визначає повноваження органів державної влади, органів місцевого самоврядування, права та обов'язки громадян України, іноземців та осіб без громадянства, підприємств, установ та організацій незалежно від форми власності. Кодексом цивільний захист визначається як функція держави, спрямована на захист населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайної ситуації шляхом запобігання таким ситуаціям, ліквідації їх наслідків і надання допомоги постраждалим у мирний час та в особливий період. Забезпечення реалізації державної політики у сфері цивільного захисту здійснюється єдиною державною системою цивільного захисту, яка складається з функціональних і територіальних підсистем та їх ланок. Єдина державна система цивільного захисту залежно від масштабів і особливостей надзвичайної ситуації, що прогнозується або виникла, функціонує у режимах повсякденного функціонування; підвищеної готовності; надзвичайної ситуації; надзвичайного стану.

5.4 Основні вимоги забезпечення показників безпеки під час застосування фасадної теплоізоляції

У залежності від конструктивного рішення утеплення застосовують збірні системи з опорядженням:

- штукатурками або дрібноштучними елементами (клас А);
- цеглою або стіновими каменями (клас Б);
- індустриальними елементами (клас В);
- прозорими елементами (клас Г).

При проектуванні збірних систем слід враховувати конструктивно-технологічні особливості їх застосування та експлуатації. Збірні системи з опорядженням штукатурками або дрібноштучними виробами (клас А) виконуються з тепловою ізоляцією, що закріплюється на несучій частині стіни, з нанесенням опоряджувального шару на поверхню шару теплової ізоляції. Збірні системи з опорядженням цеглою або стіновими каменями (клас Б) виконуються з самонесучою тепловою ізоляцією в межах поверху або ярусу, яка встановлюється на консольні залізобетонні пояси (або монолітні об'язувальні пояси для сейсмічних районів) з повітряним прошарком між її зовнішньою поверхнею та захисним шаром з цегли або стінових каменів. Збірні системи з опорядженням індустриальними елементами (клас В) виконуються з тепловою ізоляцією, що навішена на несучу частину стіни з утворенням вентиляваного повітряного прошарку між її зовнішньою поверхнею та опоряджувальним шаром. Збірні системи з опорядженням прозорими елементами (клас Г) виконуються з тепловою ізоляцією, що може бути навішеною або самонесучою в межах поверху або ярусу, яка встановлюється з повітряним прошарком між її зовнішньою поверхнею та захисним світлопрозорим шаром.

Для кожної збірної системи, що передбачається для застосування, визначається конструктивний клас, підклас, марка або тип виробів і компонентів згідно з перевіркою експлуатаційних показників відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.6-34, ДСТУ Б В.2.6-35, ДСТУ Б В.2.6-36. Зміна марок та типів компонентів комплексу (теплоізоляційного шару, опоряджувального шару, арматурної сітки, елементів кріплення тощо) потребує перевіряння збірної системи в цілому за теплотехнічними показниками, характеристиками несучої здатності, довговічності.

Безпека життя та здоров'я людини і захист довкілля повинні забезпечуватися під час проектування збірної системи за вимогами ДБН В.1.1-7, ДБН В.1.1-12, ДБН В.2.6-31, ДБН В.1.4-0.01, ДСП 201, ДГН 6.6.1-6.5.001, ДБН В.2.2-9, ДБН В.2.2-15. Довговічність конструкцій фасадної теплоізоляції повинна

забезпечуватися за рахунок застосування матеріалів, що відповідають вимогам щодо стійкості (морозостійкість, вологостійкість, біостійкість, корозійна стійкість, стійкість до впливу високих температур, циклічних температурних коливань та інших руйнівних впливів навколишнього середовища).

Емісія шкідливих хімічних речовин в атмосферне повітря від матеріалів, що використовуються в конструкціях фасадної теплоізоляції, не повинна перевищувати гранично-допустимих концентрацій (ГДК) згідно з вимогами СанПіН 6027 А, ДСП 201. Матеріали, що використовуються в конструкціях фасадної теплоізоляції, повинні відповідати вимогам ДГН 6.6.1.-6.5.001, ДБН В.1.4-0.01, ДБН В.1.4-1.01 та мати позитивні висновки державної санітарно-епідеміологічної експертизи МОЗ України.

5.5 Висновки за розділом 5

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях є невід'ємною частиною будь-якого трудового процесу як на будівельному майданчику, так і при виробництві будівельних матеріалів.

У розділі :

- проаналізовано законодавчі акти та нормативні документи щодо охорони праці та щодо захисту працівників під час надзвичайної ситуації;
- сформульовано основні вимоги з техніки безпеки і охорони праці при проведенні робіт по утепленню фасадів будівель і споруд, монтажі навісних вентиляційних фасадів;
- сформульовано основні вимоги забезпечення показників безпеки будівельних матеріалів та конструкцій теплоізоляції під час застосування фасадної теплоізоляції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

При виконанні кваліфікаційної роботи магістра виконано оптимізацію системи навісного вентиляваного фасаду, досліджено теплотехнічні характеристики конструктивних елементів вентиляваного фасаду та досліджено вплив утворення термомостів на експлуатаційні характеристики системи навісного вентиляваного фасаду.

Основними результатами виконаних досліджень є:

- виявлено недостатність інформації про методику визначення оптимальних конструктивних параметрів для структурних елементів системи вентиляваного фасаду;
- сформульовано критерії підбору матеріалів та конструктивних елементів вентиляваного фасаду для забезпечення максимальної енергоефективності будівлі;
- виконано комплексне дослідження впливу точкових термомостів на теплоізоляційні властивості систему вентиляваного фасаду та конструкцію зовнішньої стіни будівлі;
- виявлено, що у конструкціях стін з матеріалів, які мають вищі теплоізоляційні властивості, типи кріпильних кронштейнів, кількість анкерів або товщина шару теплоізоляції менше впливають на теплопровідність всієї системи, оскільки сама стіна будівлі забезпечує високий рівень теплозбереження;
- виявлено, що використання анкерів з хімічними домішками та використання термопрокладок, у місцях стиків кріпильної системи вентфасаду зі стіною є одним із ключових рішень при унеможливленні утворення явища точкових термомостів;
- виявлено, що основними методами зменшення явища термомостів є улаштування вентиляваного фасаду на стінах з високим термічним опором та використання пластикових ізолюючих кронштейнів;

- виявлено оптимальні параметри утеплювачів для кожного типу стін з урахуванням найпоширеніших стінових та теплоізолюючих матеріалів;
- виконано аналіз ціноутворення та виробництва утеплюючих матеріалів на українському ринку будівельних матеріалів;
- ліквідовано утворення конденсату у системі вентилязованого фасаду за рахунок установки захисної вітро-гідроізоляційної мембрани;
- визначено усереднені показники вартості 1м^2 навісного вентилязованого фасаду з урахуванням матеріалу захисних опоряджувальних матеріалів;
- сформульовано перелік заходів з охорони праці при виконанні робіт по утепленню фасадів будівель і споруд.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII : станом на 1 груд. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>
2. Про затвердження Положення про Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України : Постанова Каб. Міністрів України від 26.11.2014 р. № 676 : станом на 31 жовт. 2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/676-2014-п>
3. Про утворення державної установи “Фонд енергоефективності” : Постанова Каб. Міністрів України від 20.12.2017 р. № 1099 : станом на 13 листоп. 2019 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1099-2017-п> (дата звернення: 20.05.2021).
4. Про схвалення Концепції реалізації державної політики у сфері забезпечення енергетичної ефективності будівель у частині збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії та затвердження Національного плану збільшення кількості будівель з близьким до нульового рівнем споживання енергії : Розпорядж. Каб. Міністрів України від 29.01.2020 р. № 88-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/88-2020-р>
5. Програма "ЕНЕРГОДІМ" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://eefund.org.ua/programa-energodim>
6. Програма "IQ Energy" [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.iqenergy.org.ua/>
7. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель : Наказ М-ва розвитку громад та територій від 27.10.2020 р. № 260. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>
8. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель : Наказ М-ва розвитку громад та територій від 27.10.2020 р. № 261. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>

9. Роз'яснення Міністерства розвитку громад та територій [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.minregion.gov.ua/press/news/pro-neobhidnist-vprovadzhennya-energoefektyvnyh-zahodiv-roz'iasnennya-minregionu/>

10. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 "Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель". // Мінрегіон України. – 2014.

11. Методи утеплення будинку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://teplodim.info/uk/useful-articles/tehnologii-utepleniya-doma-kotorye-dejstvitelno-effektivnyu>.

12. History of Double Skin Facades [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.bestfacade.com/textde/01_history_gesamt.htm

13. Ignacio Fernández Solla. Steiff factory and the birth of curtain walling [Електронний ресурс] / Ignacio Fernández Solla. – 2711. – Режим доступу до ресурсу: <http://facadesconfidential.blogspot.com/2011/11/steiff-factory-and-birth-of-curtain.html>

14. Історія сучасної технології утеплення фасаду [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://latymer.ua/language/uk/statti/istoriya-suchasnoi-tehnologii-uteplennya-fasadu/>

15. ДБН В.2.6-33:2018 "Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування". // Мінрегіон України. – 2018.

16. Технологія облаштування фасадів будинків навісними фасадними системами з вентиляцією / Р. Я. Яким, О. А. Ужегова // Містобудування та територіальне планування. - 2011. - Вип. 40(2). - С. 581-588. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2011_40%282%29__87

17. Вентильований фасад- ефективний теплозахист будинку [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://www.stroypomosh.com.ua/uk/ventylovanyy-fasad-efektyvnyy-teplozakhyst-budynku/>

18. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Класифікація і загальні технічні вимоги: ДСТУ Б В.2.6-34:2008. – [Чинний від 01-06-2008]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 12 с. – (Національні стандарти України).

19. Кузнєцова О. О. УДК 699.866 "Аналіз сучасних конструктивно-технологічних рішень систем теплоізоляції зовнішніх стін будинків// ISSN 1813-6796 ВІСНИК КНУТД – 2013.

20. Технологія монтажу вентиляованих фасадів [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://stroyrec.com.ua/pristr%D1%96i-ventilovanih-fasad%D1%96v-iaka-tehnolog%D1%96ia-montaju-zastosovy%D1%94tsia/>

21. Опис технології монтажу вентиляованих фасадів від підготовки до фінішу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: 21. <https://vbud.in.ua/opis-tehnologiyi-montazhu-ventilovanih-fasadiv-vid-pidgotovki-do-finishu/>

22. Абелєшов В. І. УДК 64.011.8 "Дослідження деяких аспектів підвищення ефективності конструкцій фасадів будівель"// Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит = Energy saving. Power engineering. Energy audit. общегосударств. науч.-произв. и информ. журн.. – Харків– 2013

23. Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві: Науково-технічний збірник. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця. – 2013. – № 1 (14). – 160 с. розділ Технологія будівельного виробництва А. В. Мазурак, О. Т. Мазурак, В. М. Калітовський с. 75-81

24. Transient thermal analysis in ANSYS Workbench dealing with non physical temperature results [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://simutechgroup.com/tips-tricks/transient-thermal-analysis-in-ansys-mechanical-workbench-dealing-with-non-physical-temperature-results/>

25. Розв'язання нелінійних нестационарних задач теплопровідності з використанням САД-систем / А.Я. Карвацький, А.Ю. Педченко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Фізико-математичні науки: зб. наук. пр. —

Кам'янець-Подільський: Кам'янець-Подільськ. нац. ун-т, 2016. — Вип. 13. — С. 67-77. — Бібліогр.: 13 назв. — укр.

26. ДБН В.2.6-31:2016 «Теплова ізоляція будівель». // Мінрегіон України. – 2016

27. ДСТУ Б В.2.7-182:2009 "Будівельні матеріали. Методи визначення терміну ефективної експлуатації та теплопровідності будівельних ізоляційних матеріалів у розрахункових та стандартних". // Мінрегіон України. – 2009

28. ДСТУ ISO 10211-2:2005 "Теплопровідні включення в будівельних конструкціях". // Мінрегіон України. – 2005

29. EN ISO 10211, Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations, (2007) 54

30. Tusnina VM (2016) To the problem of bearing capacity and operational reliability of suspended ventilated facade. Procedia Engineering 153: 799–804. Crossref

31. Theodosiou TG, Tsikaloudaki AG, Kontoleon KJ, et al. (2015) Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades. Energy and Buildings 109: 377–384

32. ДБН В.1.2-14:2018 "Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд". // Мінрегіон України. – 2018

33. ДБН В.1.1-7:2016 "Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги" - чинні від 2017-06-01 // Мінрегіон України. – 2016.

34. ДСТУ Б В.2.6-30:2006 "Конструкції будинків і споруд. Профілі з алюмінієвих сплавів із термомістками для огорожувальних будівельних конструкцій. Загальні технічні умови". // Мінрегіон України. – 2006

35. ДСТУ 8802:2018 "Вироби з тонколистової сталі із захисно-декоративним покриттям для будівництва. Загальні технічні умови" // Мінекономрозвитку України. – 2018.

36. ДСТУ EN 10346:2014 "Вироби плоскі сталеві з покривом, нанесеним методом безперервного гарячого занурювання. Технічні умови постачання (EN 10346:2009, IDT)". // Мінекономрозвитку України. – 2014.

37. Вітро-, волого- захист у вентфасадах [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://vfasad.com.ua/vetrozashita-v-ventfasadah.html>.

38. Гандзюк М.П., Желібо Є.П., Халімовський М.О. Основи охорони праці. Підруч. для студ. вищих навч. закладів. За ред. М. П. Гандзюка. — К.: Каравела, 2004. — 408 с. — ISBN 966-8019-01-6

39. Алексеев В.А. Охорона праці будівництві та промисловості будівельних матеріалів (організація охорони праці). –К., 2002. – 112

40. Про охорону праці : Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ : станом на 27 лют. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>

41. Кодекс цивільного захисту України : Кодекс України від 02.10.2012 р. № 5403-VI : станом на 17 берез. 2021 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>

42. Про затвердження Інструкції щодо утримання захисних споруд цивільної оборони у мирний час : Наказ М-ва України з питань надзвича. ситуацій та у справах зах. населення від наслідків Чорнобил. катастрофи від 09.10.2006 р. № 653 : станом на 21 серп. 2018 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1180-06>